

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES
SUR LE TIMBRE
DES
VOYELLES FRANÇAISES

PAR

JEAN POIROT,
ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE,
CHARGÉ DE COURS DE PHONÉTIQUE
A L'UNIVERSITÉ DE HELSINGFORS.

THÈSE POUR LE DOCTORAT PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DES LETTRES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.

HELSINGFORS 1912,

IMPRIMERIE DE LA SOCIÉTÉ DE LITTÉRATURE FINNOISE.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES
SUR LE TIMBRE
DES
VOYELLES FRANÇAISES

PAR

JEAN POIROT,
ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE,
CHARGÉ DE COURS DE PHONÉTIQUE
A L'UNIVERSITÉ DE HELSINGFORS.

THÈSE POUR LE DOCTORAT PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DES LETTRES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.



HELSINGFORS 1912,
IMPRIMERIE DE LA SOCIÉTÉ DE LITTÉRATURE FINNOISE.

EXTRAIT DES
ACTA SOCIETATIS SCIENTIARUM FENNICÆ
TOM. XLII, N:o 2.

I. Introduction.

Objet du travail. — Le but que se propose la présente étude est surtout philologique. Je n'ai touché qu'accidentellement aux problèmes théoriques relatifs à la nature des sons-voyelles. Les matériaux utilisés, suffisants pour l'objet de mes recherches actuelles, seraient en effet trop peu variés pour permettre d'aborder ces questions plus complexes. Je cherche seulement à établir ici une classification des voyelles françaises d'après leur parenté acoustique. J'ai voulu entreprendre en somme, pour ma propre prononciation, le travail systématique d'analyse qui a été fait par M. Pipping pour les voyelles du finnois¹⁾, et par M. Verschuur²⁾ pour un dialecte hollandais. L'utilité de travaux de ce genre n'a pas besoin d'être longuement établie. Nous possédons actuellement des études détaillées sur le timbre des voyelles allemandes (Hermann), hollandaises (Boeke, Verschuur), suédoises et finnoises (Pipping); il n'y en a pas pour l'anglais et le français.

Cette étude, pour être complète, exige des recherches étendues. Il faudra examiner l'influence de la hauteur musicale, des sons environnants, de la position tonique ou atone, les variations dialectales ou individuelles, etc. Mon intention est de poursuivre la solution expérimentale de ces questions multiples. Mais il faut une base sur laquelle on puisse appuyer les recherches, et c'est pourquoi je donne maintenant ce premier essai. Sans vouloir dissimuler le caractère provisoire de la classification proposée, je crois qu'elle a son utilité en attendant les retouches ultérieures.

Les sons étudiés sont mes propres voyelles. Il m'a semblé inutile, dans ces expériences qui doivent servir de point de départ, de faire appel à d'autres sujets d'expérience. Le nombre en aurait été forcément limité, et il eût fallu faire sur chacun une enquête phonétique qui n'eût pas toujours été facile. Je suis né de parents vosgiens. J'ai quitté mon pays natal, le Bassigny, à l'âge de trois ans, et j'ai ensuite séjourné en Lorraine, spécialement dans les Vosges, jusqu'à ma douzième année; j'y suis souvent retourné. Ma prononciation s'est donc formée en Lorraine; mais un long séjour dans l'Ouest, où j'ai achevé mes études scolaires, puis à Paris, en a affaibli ce qu'elle pouvait avoir de nettement dialectal. Elle représente la prononciation moyenne des classes cultivées, avec une légère coloration lorraine qui ne frapperait guère que des connaisseurs de ces dialectes.

¹⁾ H. Pipping, *Zur Phonetik der finnischen Sprache*.

²⁾ Verschuur, *Klankleer van het Noord-Bevelandsch*.

Les voyelles étudiées ont été prononcées dans des mots isolés, généralement monosyllabiques, et choisies en principe dans les syllabes accentuées. Les ondes vocaliques retenues pour l'analyse ont été prises vers le milieu de la voyelle, en tout cas loin des consonnes environnantes. Les voyelles sont toutes parlées, et je ne me suis pas imposé pour toute la série vocalique une hauteur moyenne uniforme. Chaque mot a été prononcé comme une rubrique de dictionnaire. Il en est résulté que la hauteur varie dans d'assez grandes limites: les mots *anse*, *faux*, qui se trouvaient dans une même série, ont été prononcés assez bas (vers 130—140 v. d., soit ut_2 — $ré_2$); les mots *butte*, *sue*, (250—280 v. d.) sont à une octave en dessus, et les mots *housse*, *houe*, qui se trouvaient dans la même série que les deux précédents, ont été aussi émis sur une note élevée. Cette variation de hauteur offre des inconvénients, les centres de résonance se trouvant parfois trop rapprochés dans la série harmonique pour qu'on puisse les séparer; mais, pour cette première étude, il m'a paru préférable de laisser les voyelles se prononcer sur la note la plus naturelle, qui est évidemment celle pour laquelle l'appareil phonateur s'adapte le plus volontiers et fonctionne le mieux.

Les voyelles étudiées, pour lesquelles j'adopte en principe la transcription phonétique de M. l'abbé Rousselot, sont au nombre de 22:

1) e ouvert,	transcrit	è,	dans <i>fête</i> ;
2) e moyen,	"	e,	" <i>exceptait</i> ;
3) e fermé,	"	é,	" <i>dé</i> ;
4) e nasalisé,	"	ẽ,	" <i>teint sain</i> ;
5) eu ouvert,	"	œ,	" <i>douceur</i> ;
6) eu moyen accentué,	"	œ,	" <i>neuf</i> ;
7) eu fermé,	"	œ́,	" <i>boeufs</i> ;
8) eu moyen atone (e muet)	"	ə,	" <i>ce que ce poste fait</i> ;
9) eu nasalisé,	"	œ̃,	" <i>chacun un</i> ;
10) a moyen ¹⁾ ,	"	a,	" <i>cataracte</i> ;
11) a vélaire,	"	á,	" <i>tâche</i> ;
12) a nasalisé,	"	ã,	" <i>anse</i> ;
13) o ouvert,	"	ò,	" <i>sort, or</i> ;
14) o moyen,	"	o,	" <i>cosse</i> ;
15) o fermé,	"	ó,	" <i>faux</i> ;
16) o nasalisé,	"	õ,	" <i>once, fonte</i> ;
17) i moyen,	"	i,	" <i>type, Nice</i> ;
18) i fermé,	"	í,	" <i>fié, pie</i> ;
19) u moyen,	"	y,	" <i>butte</i> ;
20) u fermé,	"	ý,	" <i>sue</i> ;
21) ou moyen,	"	u,	" <i>housse</i> ;
22) ou fermé,	"	ú,	" <i>houe</i> .

¹⁾ Je n'ai pas l'a ouvert, voyelle essentiellement parisienne.

Il a été analysé de chacune en général dix ondes, de façon à obtenir pour les diverses résonances des valeurs moyennes assez sûres.

Les appareils. — Les sons à analyser ont été enregistrés sur le phonographe du laboratoire de l'Université, qui est du modèle du Phonogrammarchiv de Vienne. Une description détaillée de l'appareil se trouve dans les comptes-rendus de l'Académie des Sciences de Vienne¹⁾. C'est un appareil à plaques, mû par un moteur électrique. Pour déterminer la vitesse d'enregistrement, un signal électrique inscrit pendant l'expérience, sur un cylindre enregistreur, les demi-tours du phonographe. Cette vitesse a été en moyenne de 100 tours à la minute.

La plaque enregistrée et reconnue satisfaisante à l'audition est alors copiée. On trace au préalable avec une pointe fine dix rayons équidistants qui divisent la plaque en dix secteurs égaux. L'enregistrement sur papier noirci des tracés phonographiques se fait avec l'appareil décrit par Hauser²⁾, et dont une vue d'ensemble, d'après l'exemplaire du laboratoire de Helsingfors, se trouve dans ma *Phonetik*³⁾ p. 136. Le moteur électrique entraîne un axe vertical qui réduit la vitesse, et qui sert à mouvoir les deux autres appareils: 1° le cylindre enregistreur où s'inscrivent les tracés phonographiques; 2° par l'intermédiaire de l'axe du cylindre le phonographe lui-même⁴⁾. Pour un accouplement déterminé du cylindre et du phonographe, les déplacements angulaires relatifs de la plaque et du cylindre sont constants, quelle que soit la vitesse angulaire absolue du cylindre. L'intercalation de plusieurs cônes de vitesse permet de varier dans de grandes limites la vitesse absolue et le rapport des déplacements angulaires du phonographe et du cylindre. C'est naturellement ce dernier rapport qui détermine, pour une vibration d'une période donnée, la longueur de l'abscisse sur le papier enregistreur.

La partie essentielle de l'appareil est le levier enregistreur qui doit transformer en courbes planes agrandies les sillons creux du phonographe. Ce levier est inventé par Hau-

¹⁾ S. Exner, 2 Bericht über den Stand d. Arbeiten d. Phonogramm-Archivs-Commission, Sitzber. d. Wiener Akad., mat. naturw. Kl., Beil. z. Anzeiger, 11 Juillet 1902. — F. Hauser, Über einige Verbesserungen am Archivphonographen, loc. cit., vol. 112, 17 Déc. 1903.

²⁾ Hauser, Eine Methode zur Aufzeichnung phonographischen Wellen (Sitzgsber. d. Wiener Acad. Bd 117, Abt. IIa, Janv. 1908).

³⁾ Poirot, Die Phonetik (Handbuch der physiologischen Methodik hgg. von Tigerstedt, III, 6. Leipzig, 1911). Cité par la suite sous la seule rubrique: Phonetik.

⁴⁾ L'axe vertical réducteur est relié à l'axe du cylindre enregistreur, et celui-ci au phonographe par des cordes de soie assez tendues pour assurer la constance du déplacement. Etant donné la faible vitesse à cet endroit du système, il n'en résulte pas de secousse. Au contraire il est indispensable, comme me l'a montré l'expérience, que la liaison du moteur (ou du premier cône de vitesse) à l'axe réducteur soit faite par une courroie (de cuir) tenue aussi lâche que possible, pour éviter les secousses du moteur qui se traduisent par un tracé tremblé de la plume. C'est à une circonstance de ce genre que je suis porté à attribuer le défaut principal d'une série d'expériences que l'obligeance de M. S. Exner m'avait permis de faire au laboratoire de Vienne, et que, après mesures faites sur de nombreux échantillons, j'ai dû rejeter. — Les analyses offraient en outre généralement pour le 15^e son partiel une valeur presque significative, ce qui pourrait tenir à la membrane employée.

ser et construit par M. Castagna. Le principe, et un dessin schématique, en ont été donnés *Phonetik* p. 135. Une description plus détaillée, complétée par une étude expérimentale de l'appareil, vient d'être donnée par MM. H. Benndorf et R. Pösch ¹⁾. L'appareil comprend:

1° un cylindre vertical en métal, que j'appellerai C, terminé en bas par un saphir mousse (comme les saphirs parleurs) et en haut par une tête en tronc de cône. C'est le saphir qui repose dans le sillon phonographique. Le cylindre glisse à frottement très doux entre deux paires de roulettes, dont le rôle est de ne lui laisser d'autre liberté de déplacement que dans le sens vertical. Dans la translation de la plaque le cylindre est donc soulevé et abaissé conformément au profil du sillon phonographique.

2° un premier levier (L_1), levier du premier genre tournant autour d'un axe à aiguilles. L'extrémité du petit bras, amincie en pyramide tronquée, repose sur la tête du cylindre C ²⁾; l'extrémité du grand bras s'élargit et porte une encoche où repose le fil de soie qui relie ce levier au suivant. Dans sa position moyenne, ce levier a un alignement horizontal.

3° le second levier (L_2), placé au dessus du premier. C'est un levier du premier genre, tournant autour d'un axe en couteau de balance. La partie centrale, métallique, se termine du côté du grand bras par une aiguille où s'emmanche le levier de paille qui assume l'inscription sur le cylindre; du côté du petit bras, par un cylindre fileté destiné à porter un contrepoids mobile réglant la pression de la pointe écrivante. Le levier L_2 est parallèle à L_1 , mais aligné en sens inverse; l'extrémité du grand bras de L_2 (extrémité libre de l'ensemble) se trouve du côté du petit bras de L_1 (point d'application de la puissance). Les axes longitudinaux des deux leviers doivent se trouver bien entendu dans un même plan vertical, pour éviter le moment de torsion qui résulterait des déplacements de C. Le système des deux leviers peut être déplacé verticalement à l'aide d'une vis micrométrique V_1 ; une autre vis micrométrique V_2 permet le déplacement du système total (cylindre C et leviers) selon le rayon de la plaque, donc perpendiculairement aux sillons phonographiques.

Le levier se règle de la façon suivante. L'appareil de copie étant vissé sur le phonographe, et le cylindre C reposant sur la plaque, le levier inférieur est placé dans une position horizontale, et, à l'aide de la vis V_1 , abaissé au contact de C. Le levier supérieur, débarrassé du contrepoids mobile, est attaché par le fil de soie au levier L_1 de telle façon qu'il se maintienne lui aussi horizontal. L'appareil est construit de telle sorte que, dans ces conditions, la pointe écrivante (extrémité libre du levier L_2) exerce sur le petit bras de L_1 et par suite sur C une pression trop forte: la pointe du saphir mousse creuserait un sillon dans la cire. — On relève alors avec la vis V_1 le double levier, de façon que L_1 ne touche plus C. Le levier L_2 tombe en avant par suite de l'excès de poids de sa pointe. On visse le contrepoids mobile qu'on déplace jusqu'à ce que le petit bras de L_2 fasse presque équilibre au grand bras. Ce dernier doit conserver un très faible excédent de poids, suffisant pour assurer le contact du saphir avec la plaque, mais pas assez grand pour dégrader la cire

¹⁾ H. Benndorf und R. Pösch, Zur Darstellung phonographischer Wellen. Sitzgsber. Wien. Acad. mat. naturw. Kl., Bd 120, Abt. II a, Déc. 1911.

²⁾ Une solution analogue du problème technique: aiguille mobile verticalement et transmettant ses déplacements au petit axe d'un levier enregistreur, avait déjà été adoptée par K. Verner; v. *Phonetik* p. 138.

quand la plaque se déplace. Ce réglage peut être opéré une fois pour toutes. On abaisse alors le double levier jusqu'à ce que L_1 et L_2 prennent au repos une position horizontale. L'appareil est prêt à écrire. Il suffit de placer le saphir dans un sillon (réglage à l'aide de la vis V_2) pour que la pointe écrivante trace une courbe qui est fonction du profil du sillon.

Le cylindre C a une longueur de 8.8¹⁾ et un poids de 2.891; étant donné sa position, il ne peut avoir qu'un moment d'inertie insignifiant par rapport au reste du système. La friction est aussi très faible; soulevé, il retombe immédiatement par son propre poids.

Le levier L_1 a une longueur effective de 10.5, dont 0.5 pour le petit bras et 10.0 pour le grand; il amplifie donc 20 fois. Le poids total (axe compris) est de 5.060.

Le levier L_2 a une forme et une composition variables. La partie centrale pèse, sans les contrepoids, 7.951. Le petit bras, déterminé par le point où passe le fil de soie, est de 0.6. Le grand bras a, dans mon exemplaire, une longueur totale de 46.2. L'agrandissement de L_2 est donc de 77 fois, et l'agrandissement total de $77 \times 20 = 1520$, soit en chiffres ronds 1500 fois. Pour équilibrer le grand bras je dispose de 4 curseurs de poids variable. Pour ne pas accroître le moment d'inertie, j'emploie les deux plus lourds (poids total 4.465) placés à une distance moyenne de 2.45 de l'axe d'oscillation.

La détermination de l'équation différentielle du mouvement, pour le système entier, présente des difficultés. Le moment d'inertie est d'un calcul compliqué; la détermination expérimentale est aussi malaisée. Le mémoire précité de MM. Benndorf et Pösch ne présente pas non plus ces formules. Mais on peut établir expérimentalement quelques données utiles au point de vue pratique. Pour que l'appareil soit utilisable, il doit demeurer rigide dans les conditions où il fonctionne; je me suis assuré que cette condition est pratiquement réalisée. Il faut aussi que la réaction dynamique sur le point d'application de la puissance reste assez faible pour que le saphir ne pénètre pas dans la cire; c'est ce qui a lieu quand le réglage est bon. En enlevant les leviers, et en chargeant la tête du cylindre C de poids variables, j'ai pu constater qu'un poids de 30 gr, même en faisant tourner la plaque à une vitesse plusieurs centaines de fois supérieure à celle de la copie, ne produisait pas d'usure; un poids de 40 gr peut déjà entamer la cire; 50 gr la dégradent toujours. La réaction dynamique reste donc inférieure à cette limite de 30 grammes.

Une autre considération conduit au même résultat, à savoir que le moment total d'inertie est négligeable. Il est essentiel, pour le bon fonctionnement d'un semblable appareil, que, dans les conditions d'expérience, on reste beaucoup au dessous de la résonance du mécanisme inscripteur. J'ai donc cherché à déterminer les vibrations propres du système de leviers, en photographiant à l'aide de l'enregistreur de Frank les oscillations amorties que décrit le levier supérieur quand, après avoir soulevé la pointe inscriptrice, on les laisse retomber. La période d'oscillation est d'une demi-seconde environ. L'observation du décremént n'aurait qu'un intérêt secondaire, la friction dans les conditions d'expérience étant naturellement plus considérable. — La vitesse moyenne de copie est de 0.11 à la seconde. L'abscisse des ondes vocaliques varie entre 1.4 et 2.9 environ; la durée de transcription d'une onde varie donc de 12 à 24 sec. Les vibrations propres du levier correspondraient aux

¹⁾ Toutes les mesures sont ici données en unités C G S.

harmoniques 24 à 50 environ de ces ondes. On est donc assez éloigné de la résonance pour ne pas avoir à craindre une déformation due au facteur inertie.

Mesures et analyses. Les conditions expérimentales (vitesse d'enregistrement, accouplement du cylindre et du phonographe) ont été choisies de manière à fournir des périodes très étalées. Pour déterminer la hauteur des ondes soumises à l'analyse, il faut connaître, outre l'abscisse de chaque onde :

1° la vitesse d'enregistrement du phonographe, qu'on obtient pour chaque demi-tour en mesurant les abscisses qui correspondent au demi-tour et aux vibrations correspondantes du diapason chronographe;

2° la durée correspondant à chacun des secteurs tracés sur la plaque. La division du cercle en dix parties n'est en effet pas absolument uniforme; des mesures spéciales ont établi que, en numérotant ces secteurs de 1 à 10, ils occupent les fractions suivantes de la surface totale (ces fractions sont désignées par c)

Secteur	Valeur de c	Secteur	Valeur de c
1	0.1000	6	0.0993
2	0.1007	7	0.1003
3	0.0996	8	0.1000
4	0.0993	9	0.0998
5	0.1007	10	0.1003

Dès lors, soient

a la vitesse d'enregistrement du cylindre marquant les demi-tours du phonographe pendant l'expérience;

b l'abscisse correspondant à un demi-tour sur le même cylindre;

c la valeur relative d'un des 5 secteurs de ce demi-tour;

d l'abscisse de ce secteur sur la feuille de copie, et

x l'abscisse d'une onde vibratoire,

(toutes les longueurs exprimées dans la même unité), la hauteur v correspondant à une vibration d'abscisse x est

$$v = \frac{ad}{2bcx}.$$

S'il n'y a qu'une vibration sur un secteur, on calcule directement cette formule. S'il y en a plusieurs, il est avantageux de calculer d'abord l'élément commun $ad/2bc$. On peut ensuite multiplier le résultat par $\frac{1}{x}$ (si on opère avec une machine, c'est le plus pratique); mais, comme v est en général un nombre de 3 chiffres au plus, il est plus commode d'employer les tables de Crelle, qui donnent le résultat à l'aide d'une seule lecture.

Les abscisses a , b , d , x ont été toutes mesurées à l'aide d'une échelle de verre graduée au $\frac{1}{10}$ mm, appliquée directement sur les tracés et observée avec une forte loupe (gros-sissement 10 fois). Une différence d'une unité de l'échelle dans la mesure de x amène une différence d'environ une vibration. Il est inutile de pousser plus loin la précision des mesures, une erreur d'une vibration étant ici sans importance.

Les abscisses des courbes obtenues varient entre env. 140 et 290 unités de l'échelle; la largeur du trait dépasse rarement $\frac{1}{20}$ mm, et reste généralement de $\frac{3}{100}$ mm. Il est donc facile, en agrandissant ces tracés, de donner à l'abscisse, sans que le trait devienne trop large, des dimensions qui permettent d'employer l'analysateur harmonique de Mader. Cet appareil analyse en série de Fourier une courbe d'abscisse comprise entre 2 et 36 cm; mais, tant en vue de l'intégration partielle (en 2 parties pour les termes de rang pair à partir du dixième) que pour diminuer l'influence des erreurs de mesure, on a donné à l'abscisse une longueur au moins égale à 12 cm, et de préférence supérieure.

Les tracés ont été en majeure partie agrandis photographiquement (sur format 13×18 , parfois, comme pour les voyelles i , sur format 18×24). Le reste a été agrandi 10 fois à la main. Appliquant sur l'onde un réseau micrométrique au $\frac{1}{10}$ mm², j'ai mesuré les ordonnées correspondant à certaines abscisses, reporté ces valeurs sur un papier quadrillé au mm, et réuni les points par un trait continu. Ces points sont d'autant plus rapprochés que la pente de la courbe est plus accentuée ou plus variée; la comparaison de la courbe dessinée avec la courbe originale encore recouverte du réseau permet de corriger des fautes éventuelles. Comme on peut observer surtout les points où la courbe croise les lignes du réseau (et en particulier les coins des carrés), la précision des mesures est au moins égale, et probablement supérieure à ce que donnerait la mesure de n ordonnées équidistantes, qui souvent seraient placées entre deux lignes du réseau, et ne pourraient être mesurées que par évaluation. Un autre élément d'erreur provient des irrégularités du quadrillage; mais ces irrégularités n'atteignent que 3 à 7 ‰ (en moyenne 0.5 ‰); cette erreur est faible par rapport aux erreurs de mesure.

Les courbes agrandies ont été analysées harmoniquement à l'aide de l'appareil de Mader. La description de cet analysateur se trouve dans le travail original de l'inventeur; l'essentiel en est reproduit *Phonetik* pp. 180—185; je puis donc me dispenser d'entrer dans des détails techniques. Il suffira d'indiquer ici que l'analysateur de Mader donne la valeur et le signe de chacune des constantes d'intégration de la série de Fourier

$$y_{(\varphi)} = a_0 + a_1 \cos \varphi + a_2 \cos 2 \varphi + \dots + a_n \cos n \varphi + \dots \\ + b_1 \sin \varphi + b_2 \sin 2 \varphi + \dots + b_n \sin n \varphi + \dots,$$

directement pour les indices 1 à 9 et les indices impairs jusqu'à 19, et par intégration partielle pour les autres indices. La constante a_0 se détermine par le planimètre seul; je l'ai d'ailleurs négligée dans mes mesures. Elle n'a en effet d'utilité que si, partant des constantes obtenues, on veut reconstruire pour un argument quelconque φ l'ordonnée de la courbe, ce qui constitue une vérification des mesures. Mais j'ai remarqué, après un ou deux essais, qu'il était impossible d'obtenir la valeur exacte de a_0 à moins de coller sur un support rigide la feuille comprenant la courbe. La perte de temps eût été d'ailleurs sans compensation, car l'emploi de la formule ci-dessus permet bien de dire s'il y a eu des erreurs, mais non pas

d'en préciser le nombre et la situation. C'est pourquoi j'ai adopté un autre moyen de contrôle, consistant à faire deux fois de suite l'intégration nécessaire pour obtenir chacun des termes de la série. Une fois le planimètre mis en place, on fait une première lecture, puis on intègre le long de la courbe; revenu au point de départ, on fait la seconde lecture, et immédiatement on repart pour la seconde intégration, qui se fait par suite sur une région différente du planimètre. Si les résultats ne concordent pas, on procède à une troisième détermination, suivie au besoin d'une quatrième ¹⁾.

L'appareil donne, à l'aide d'un vernier, les constantes jusqu'à $\frac{1}{10}$ mm près (une unité du vernier). Comme les courbes avaient été agrandies pour les mesures, et que l'agrandissement total atteint jusqu'à 18.000 fois environ, il serait illusoire de prétendre à une plus grande précision. Quand les deux lectures différaient d'une ou deux unités du vernier, j'ai adopté la moyenne de ces valeurs; c'est seulement quand l'écart atteignait 3 unités ou plus que j'ai fait une troisième détermination.

II. Analyses.

Dans ce chapitre sont donnés les résultats numériques des analyses harmoniques et la discussion de ces résultats.

L'examen de l'analyse harmonique d'une voyelle montre, comme on sait, l'existence d'une ou plusieurs séries d'harmoniques dont l'amplitude relative est plus grande que les autres. Ces fortes amplitudes sont dues à des renforcements provoqués par les résonateurs vocaux, et permettent de retrouver par induction le son propre de ces résonateurs.

Je me suis servi pour cette détermination du calcul barycentrique sous la forme donnée par M. Hermann. Quand la prédominance d'un harmonique sur ses voisins indique la proximité d'un centre de résonance, j'ai donc pris en général le groupe de 3 harmoniques formés par le son prépondérant et ses deux voisins, et placé le centre au rang n fourni par la formule

$$n = \frac{(p-1) C_{p-1} + p C_p + (p+1) C_{p+1}}{C_{p-1} + C_p + C_{p+1}},$$

où C désigne l'amplitude de l'harmonique dans la série de Fourier réduite à l'expression d'un seul sinus ($C = \sqrt{A^2 + B^2}$), et p le rang du son partiel prépondérant. Si $C_{p \pm 1}$ est très faible par rapport aux deux autres, je le néglige. Il résulte de la formule ci-dessus que, si les amplitudes C_{p-1} et C_{p+1} sont égales, on a $n = p$.

Il arrive fréquemment que deux groupes de renforcement se touchent, et qu'on ait p. ex. deux sons partiels ²⁾ C_{p-1} et C_{p+1} séparés par un autre plus faible C_p . Dans ce cas il

¹⁾ Je traiterai ailleurs plus en détail de cette question d'ordre purement pratique.

²⁾ Pour abrégé j'écrirai dans la suite sp.

est impossible de déterminer avec exactitude le centre des deux résonances; mais on peut indiquer pour chacune les limites inférieure et supérieure que le calcul fournit pour chaque centre selon qu'on lui attribue entièrement ou qu'on lui retranche entièrement C_p . Ce procédé n'est pas à l'abri de la critique, car on peut penser que l'influence de chaque résonance s'étend encore au delà, donc sur C_{p+1} resp. C_{p-1} ; mais souvent la considération des harmoniques plus éloignés, et en particulier de la décroissance de l'amplitude maxima dans le sens opposé à C_p montre si on peut croire à une influence aussi étendue.¹⁾

Comme on le verra plus bas, il m'a paru qu'on pouvait d'ailleurs recourir parfois à d'autres moyens, par la considération de résonances secondaires.

D'une façon générale la position d'un centre de résonance peut s'indiquer avec d'autant plus de précision que ce centre renforce des sp de rang plus élevé. La raison en est que les intervalles musicaux des harmoniques vont en diminuant avec leur rang. En effet,

du sp 1 au sp 2 (et réciproquement) l'intervalle constitue une octave,

"	2	"	3	"	"	"	"	quinte,
"	3	"	4	"	"	"	"	quarte,
"	4	"	5	"	"	"	"	tierce majeure,
"	5	"	6	"	"	"	"	mineure,
"	6	"	7	"	"	(1.1666)	"	moins d'un ton majeur diézé (1.172),
"	7	"	8	"	"	(1.143)	"	plus d'un ton majeur,
"	8	"	9	"	"	"	"	un ton majeur,
"	9	"	10	"	"	"	"	un ton mineur, etc.

Dans les tableaux et remarques relatifs aux analyses vocaliques j'ai indiqué la hauteur (toujours en vibrations doubles) du son fondamental et de ses harmoniques, ainsi que la hauteur des centres de résonance (éventuellement de leurs limites); mais je n'ai indiqué les notes correspondantes de la gamme que dans les moyennes de chaque voyelle. Il me semble pratique de réunir ici en un tableau les sons de la gamme *naturelle* avec leur hauteur pour les gammes qui entrent ici en ligne de compte, c. a. d. pour l'intervalle de ut_2 à ut_7 ($c - c^5$). Ce tableau est emprunté à un tableau complet publié par R. König¹⁾; j'ai négligé les décimales, qui n'ont ici aucun intérêt.

¹⁾ M. Scripture (Study of speech cerves, p. 80) divise en pareil cas C_p en parties proportionnelles à C_{p-1} et C_{p+1} et fait le calcul dans ces conditions. Mais ce procédé suppose évidemment que les résonateurs intéressés ont les mêmes propriétés acoustiques, et en particulier une même constante d'amortissement, ce que nous ne sommes pas autorisés à affirmer; en outre il tombe sous la même objection que celui employé dans le présent travail.

²⁾ R. König, Tableau général des nombres de vibrations de la série des sons musicaux. *La Parole*, 1902, S. 654-664.

Gammes naturelles $ut_2 - ut_7$.

Son	Octaves partant de				
	$ut_2 - c$	$ut_3 - c^I$	$ut_4 - c^{II}$	$ut_5 - c^{III}$	$ut_6 - c^{IV}$
ut (c)	128	256	512	1024	2048
ut $\sharp$ (cis)	133	267	533	1067	2233
ré $\flat$ (des)	138	276	553	1106	2212
ré (d)	144	288	576	1152	2304
ré $\sharp$ (dis)	150	300	600	1200	2400
mi $\flat$ (es)	154	307	614	1229	2458
mi (e)	160	320	640	1280	2560
mi $\sharp$ (eis)	167	333	667	1333	2667
fa $\flat$ (fes)	164	328	655	1311	2621
fa (f)	171	341	683	1365	2731
fa $\sharp$ (fis)	178	356	711	1422	2844
sol $\flat$ (ges)	184	369	737	1475	2949
sol (g)	192	384	763	1536	3072
sol $\sharp$ (gis)	200	400	800	1600	3200
la $\flat$ (as)	205	410	819	1638	3277
la (a)	213	427	853	1707	3413
la $\sharp$ (ais)	222	444	889	1778	3556
si $\flat$ (b)	230	461	922	1843	3686
si (h)	240	480	960	1920	3840
si $\sharp$ (his)	250	500	1000	2000	4000
ut $\flat$ (ces)	246	492	983	1967	3932
ut supérieur	256	512	1024	2048	4096

Pour mesurer les limites dans lesquelles on peut localiser un centre de résonance, et aussi la distance qui sépare l'un de l'autre les divers centres, j'ai indiqué leurs intervalles en prenant le quotient de la valeur la plus élevée par la plus basse. Pour plus de commodité, je donnerai également ci-dessous un tableau des intervalles musicaux (en fraction décimales) calculés de la même manière; ce tableau facilitera l'appréciation des intervalles indiqués plus loin.

Intervalles musicaux.

Valeur numérique	Signe	Désignation
1.000	c	prime ou unisson.
1.042	cis	prime augmentée ou demi-ton mineur.
1.067		demi-ton majeur.
1.080	des	seconde diminuée.
1.111		ton (entier) mineur.
1.125	d	seconde ou ton (entier) majeur.
1.172	dis	seconde augm.
1.200	es	tierce mineure.
1.250	e	tierce majeure.
1.280	fes	quarte dimin.
1.302	eis	tierce augm.
1.333	f	quarte.
1.389	fis	quarte augm.
1.440	ges	quinte dim.
1.500	g	quinte.
1.563	gis	quinte augm.
1.600	as	sixte mineure (dim.).
1.667	a	sixte majeure.
1.736	ais	sixte augm.
1.800	b	septième mineure (dim.).
1.875	h	septième.
1.920	ces'	octave dim.
1.953	his	septième augm.
2.000	c'	octave.

Les intervalles au delà de l'octave s'obtiennent en multipliant par 2 les précédents: la neuvième en multipliant par 2 la seconde, la dixième à l'aide de la tierce majeure etc. Il suffira d'indiquer les principaux jalons:

2.250	d'	neuvième.
2.500	e'	dixième.
2.667	f'	onzième.
3.000	g'	douzième.
3.333	a'	treizième.
3.750	h'	quatorzième.
4.000	c''	double octave.

Je passe maintenant au résultat des analyses et à leur discussion. Je traiterai chaque voyelle à part. Un tableau indique, pour chaque onde d'une voyelle, les résultats bruts de l'analyse. Il comprend sur cinq colonnes:

e rang des termes de la série de Fourier (Sp. = son partiel);
la hauteur des sons correspondants (v = vibrations);
l'amplitude absolue de chaque terme (p) donnée en millimètres de l'analysateur, le chiffre
décimal correspondant ainsi à la lecture faite sur le vernier ¹⁾;
l'amplitude relative (P), calculée en % de la plus forte amplitude;
l'intensité relative (I), calculée de même.

Les tableaux sont réunis, et suivis de remarques contenant la discussion des résultats, et en particulier le calcul des centres de résonance. Cette discussion elle-même est suivie d'un résumé présentant la synthèse, pour chaque voyelle, des résultats partiels fournis par les ondes analysées.

¹⁾ Pour les ondes où l'analyse a été poussée jusqu'au 19^e sp, j'ai indiqué seulement la valeur moyenne des harmoniques non significatifs négligés (p. ex. voyelle è, n° 6).

Voyelle è.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	176	4.0	33.1	1	178	1.0	19.2	0	180	1.6	28.6	0	181	5.3	58.9	2
2	352	4.3	35.5	3	356	5.2	100.0	2	360	4.3	77.0	14	362	5.0	55.6	8
3	528	5.2	43.0	19	534	4.0	76.8	3	540	3.4	60.9	19	543	5.2	57.8	19
4	704	12.1	100.0	100	712	5.1	97.9	100	720	5.6	100.0	100	724	9.0	100.0	100
5	880	3.3	27.3	12	890	2.9	55.7	5	900	3.4	60.9	57	905	3.6	40.0	25
6	1056	2.1	17.4	7	1068	0.8	15.3	1	1080	0.9	16.1	5	1086	1.2	13.3	4
7	1232	2.7	22.3	15	1246	0.9	17.3	1	1260	1.3	23.2	15	1267	0.8	8.8	2
8	1408	5.4	44.6	81	1424	1.7	32.6	4	1440	1.7	30.4	35	1448	1.3	14.4	8
9	1584	3.3	27.3	38	1602	1.1	21.1	2	1620	1.2	21.5	21	1629	2.0	22.0	25
10	1760	1.4	11.6	8									1810	0.2	2.2	0
11	1936	0.5	3.3	1									1991	0.2	2.2	0
12	2112	0.8	6.6	4									2172	0.3	3.3	1

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	186	5.7	62.1	2	187	6.9	83.1	4	187	1.7	27.0	0	189	5.2	64.2	2
2	372	5.0	54.5	7	374	3.9	47.0	5	374	5.6	89.0	20	378	1.7	21.0	1
3	558	6.6	71.9	28	561	6.5	78.3	34	561	4.3	68.4	26	567	5.3	65.4	16
4	744	9.2	100.0	98	748	8.3	100.0	100	748	6.3	100.0	100	756	8.1	100.0	100
5	930	6.0	65.4	65	935	4.3	51.8	41	935	2.6	41.3	26	945	2.7	33.3	12
6	1116	2.7	29.4	19	1122	1.6	19.3	8	1122	1.4	22.2	12	1134	0.7	8.6	1
7	1302	4.1	44.7	59	1309	3.8	45.8	62	1309	1.6	25.4	19	1323	1.6	19.8	8
8	1488	4.7	51.2	100	1496	3.7	44.6	78	1496	2.0	31.8	40	1512	1.8	22.2	14
9	1674	1.7	18.5	17	1683	1.7	20.5	22	1683	1.8	28.6	40	1701	1.9	23.5	19
10	1860	0.9	9.8	5	1870	0.9	10.8	7	1870	0.4	6.4	3	1890	0.3	3.7	1
11	2046	0	0	0	2057	0	0	0	2057	0.1	1.6	0	2079	0.1	1.2	0
12	2232	0.6	6.5	3	2244	1.3	15.7	21	2244	0.7	11.1	12	2268	0.2	2.5	0

$$m_{p_{13}-p_{19}} = 0.2 (2.4 \%)$$

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	189	5.8	76.3	4	196	2.7	39.1	0
2	378	5.8	76.3	15	392	4.1	59.4	1
3	567	7.5	98.6	55	588	3.9	56.6	2
4	756	7.6	100.0	100	784	6.9	100.0	100
5	945	5.2	68.4	73	980	4.2	60.9	6
6	1134	2.9	38.2	32	1176	1.3	18.9	1
7	1323	3.4	44.7	68	1372	2.8	40.6	5
8	1512	2.1	26.6	30	1568	2.5	36.2	5
9	1701	1.9	25.0	31	1764	1.5	21.8	2
10	1890	0.9	11.8	9				
11	2079	0.3	3.9	1				

Remarques. — N° 1. — Deux centres de renforcement apparaissent immédiatement, indiqués l'un par la forte amplitude p_4 , l'autre par p_8 . Le premier correspond à la résonance de l'arrière-bouche, le second à la résonance buccale proprement dite. — Le renforcement des harmoniques s'étend sans interruption de 1 à 10. Mais il ne semble pas possible d'expliquer par la résonance du pharynx la forte amplitude des sons partiels 1 et 2. En effet, à distance de tierce majeure (4—5) l'amplitude est tombée à 27 % de sa valeur maxima; à distance d'octave, à plus forte raison de deux octaves, elle serait très petite. Il faut donc admettre qu'une troisième résonance intervient, qui renforce les sons partiels 1 et 2, et dont l'influence s'étend peut-être même sur le sp 3. Cette résonance a déjà été observée par M. Pipping, et attribuée par lui¹⁾ à la cage thoracique. Sans se prononcer ici sur ce point, on notera d'abord l'existence de cette 3^e résonance.

En désignant par Rp la résonance du pharynx et Rb la résonance buccale, on obtient pour les 3 résonances les valeurs suivantes:

1^{ère} résonance p_1-p_2 $v=269$ (trop bas si la résonance s'étend sur p_3).

2^e résonance ou Rp lim. inf. p_3-p_5 $v=700$ (sans doute assez approchée); lim. sup. p_4-p_5 $v=759$ (de peu de valeur).

3^e résonance ou Rb p_7-p_9 $v=1416$.

N° 2. L'existence du premier centre est encore mieux indiquée par le fait que p_2 est plus fort que p_3 et aussi fort que p_4 . Il est vraisemblable que p_3 subit l'influence des deux résonances voisines. On aurait alors:

1^{er} centre lim. inf. p_1-p_2 $v=328$.

Rp lim. inf. p_3-p_5 $v=696$; lim. sup. $p_{11}-p_5$ $v=776$ (beaucoup trop haut).

Rb p_7-p_9 $v=1533$.

Des raisonnements analogues peuvent être faits sur les ondes suivantes; on se con-

¹⁾ Pipping, Zur Phonetik der finnischen Sprache, p. 155.

tentera donc d'indiquer les résultats du calcul, en ajoutant quelques indications dans les cas intéressants.

N° 3. — 1^{er} centre p_1-p_2 $v=311$, peut-être lim. inf.

Rp p_3-p_5 $v=720$ (même remarque).

Rb p_7-p_9 $v=1436$.

N° 4. — 1^{er} centre p_1-p_2 $v=270$.

Rp p_3-p_5 $v=708$, peut-être lim. inf.

Rb p_7-p_9 $v=1558$.

N° 5. — 1^{er} centre p_1-p_2 $v=273$.

Rp p_3-p_5 $v=738$, peut-être lim. inf.

Rb p_7-p_9 $v=1445$.

N° 6. — 1^{er} p_1-p_2 $v=254$, probablement lim. inf., mais approchée.

Rp p_3-p_5 $v=726$ (même remarque).

Rb p_7-p_9 $v=1402$.

N° 7. — 1^{er} centre p_1-p_2 $v=331$.

Rp p_3-p_5 $v=712$, peut-être lim. inf.

Rb p_7-p_9 $v=1503$.

N° 8. — 1^{er} centre p_1-p_2 $v=238$. Cette première résonance est ici aussi nettement indiquée par le fait que p_2 est très faible.

Rp p_3-p_5 $v=731$.

Rb p_7-p_9 $v=1523$.

N° 9. — 1^{er} centre $v=284$. — Rp p_3-p_5 $v=735$; Rb p_7-p_9 $v=1304$.

N° 10. — 1^{er} centre p_1-p_2 $v=314$, peut-être lim. inf.

Rp p_3-p_5 $v=788$ (même remarque).

Rb lim. inf. p_7-p_9 $v=1464$, lim. sup. p_7-p_9 $v=1474$, moyenne 1470.

En résumé, la résonance la plus basse, comprise entre le premier et le deuxième son partiel, ne peut être fixée avec l'exactitude désirable, l'intervalle étant trop grand. En prenant la moyenne de ces dix ondes, on obtiendra comme position approximative $v=287$, soit $ré_3$ (d'), qui est peut-être une limite inférieure.

Pour la résonance de l'arrière-bouche, on a la valeur moyenne $v=725 < \text{sol } b_4$ (ges''); pour la résonance buccale la valeur $v=1460 < \text{sol } b_3$ (ges'''). L'intervalle entre Rp et Rb est de $\frac{1460}{725} = 2.014$, soit sensiblement une octave.

Voyelle é.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	174	0.8	18.6	0	175	3.5	38.9	1	178	1.5	25.4	0	177	1.8	29.5	0
2	348	1.4	32.6	2	350	4.7	52.2	4	356	3.8	64.2	6	354	3.6	59.0	5
3	522	1.4	32.6	5	525	3.3	36.7	4	534	2.1	35.5	4	531	1.9	31.2	3
4	696	4.3	100.0	82	700	9.0	100.0	55	712	5.9	100.0	58	708	6.1	100.0	60
5	870	2.4	55.9	40	875	4.7	52.2	23	890	3.6	60.8	33	885	4.5	73.8	50
6	1044	1.0	23.3	10	1050	3.7	41.1	21	1068	2.2	37.2	19	1062	1.7	27.9	10
7	1218	2.7	62.9	100	1225	6.9	76.7	100	1246	4.4	74.4	100	1239	4.5	73.8	99
8	1392	1.2	28.0	26	1400	2.6	28.9	18	1424	2.3	38.9	35	1416	2.4	39.4	38
9	1566	0.3	7.0	2	1575	0.9	10.0	3	1602	1.2	20.3	13	1593	0.9	14.8	7

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	181	3.4	36.2	1	182	4.2	89.4	3	186	4.1	56.2	1	186	2.8	82.3	2
2	362	4.4	46.8	4	364	1.5	31.9	1	372	5.2	71.2	8	372	2.8	82.3	7
3	543	3.1	33.0	5	546	3.2	68.1	15	558	4.5	61.6	13	558	2.0	58.8	8
4	724	9.4	100.0	81	728	4.7	100.0	53	744	7.3	100.0	62	744	3.4	100.0	42
5	905	4.2	44.7	25	910	2.3	48.9	21	930	2.9	39.7	15	930	1.9	55.9	20
6	1086	2.0	21.3	11	1092	1.2	25.5	8	1116	2.1	28.8	12	1116	0.4	11.8	1
7	1267	6.0	63.8	100	1274	3.2	68.1	79	1302	5.0	68.5	92	1302	3.0	88.2	100
8	1448	3.2	34.0	38	1456	3.2	68.1	100	1488	4.6	63.0	100	1488	2.2	64.7	70
9	1629	0.7	7.4	2	1638	1.3	27.7	20	1674	0.8	11.0	4	1674	0.7	20.6	8
10					1820	0.1	2.1	0	1860	0.4	5.5	1				
11					2002	0.1	2.1	0	2046	0.3	4.1	1				

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	188	10.9	100.0	10	191	1.4	20.3	0
2	376	8.4	77.1	23	382	5.4	78.3	7
3	564	3.0	27.5	7	573	1.3	18.8	1
4	752	8.1	74.3	84	764	6.9	100.0	47
5	940	5.5	50.5	61	955	4.7	68.1	33
6	1128	2.5	22.9	18	1146	3.3	47.8	29
7	1316	3.4	31.2	44	1337	5.8	84.1	100
8	1504	4.4	40.4	100	1528	0.1	1.4	4
9	1692	0.4	3.7	1	1719	0.0	0	0
m. $p_{10}-p_{19}=0.2$ (1.8 ‰)								

Remarques. — N° 1. — Dans la grande région de renforcement qui s'étend sans interruption du premier au huitième sons partiels, p_4 et p_7 apparaissent d'abord comme indiquant les centres de Rp et Rb. Le premier centre est lui aussi nettement indiqué, puisque p_2 est égal à p_3 , et ne saurait être attribué à la seule résonance de l'arrière-bouche. La construction barycentrique donne:

Premier centre p_1-p_2 , $v=285$ (lim. sup. si p_2 est encore influencé par Rp).

Rp p_3-p_5 , $v=717$. Rb p_6-p_8 , $v=1225$.

N° 2. — Le premier centre se marque encore mieux par la forte amplitude p_2 . Il est possible qu'il influence encore p_3 ; mais il est possible aussi que p_2 subisse l'influence de Rp. On a dans ces conditions:

Premier centre p_1-p_2 $v=275$ (peut-être lim. inf.).

Rp p_3-p_5 $v=714$ (même remarque).

Rb p_6-p_8 $v=1211$ (même remarque).

N° 3. — Très semblable au n° 2. On a donc:

Premier centre p_1-p_2 $v=315$ (lim. inf.?). Rp p_3-p_5 $v=727$ (lim. inf.?). Rb p_6-p_8 $v=1233$ (lim. inf.?).

N° 4. — Même raisonnement. Les valeurs indiquées peuvent être des limites inférieures. Premier centre p_1-p_2 $v=296$; Rp, p_3-p_5 $v=750$; Rb p_6-p_8 $v=1253$. (Il n'est pas impossible que p_6 soit encore influencé par Rp et p_3 par le premier centre. Dans ce cas, on a pour limite supérieure de Rp: p_4-p_5 $v=782$. Si on prend la moyenne de ces valeurs, la position de Rp serait à $n=4.3$, donc à un même intervalle (1.4) de p_3 que de p_6 , et Rp pourrait influencer aussi bien l'un que l'autre. Mais il est évident que, même dans ce cas, l'influence de Rb sur p_6 doit être prédominante.

N° 5. — Les fortes amplitudes p_1-p_2 montrent bien l'influence du premier centre.

Premier centre p_1-p_2 $v=284$. Rp p_3-p_5 $v=737$. Rb p_6-p_8 $v=1287$ (limites inférieures?).

N° 6. — Le premier centre paraît s'être déplacé et rapproché du son fondamental. Premier centre p_1-p_2 $v=231$. Rp p_3-p_5 $v=712$. Rb p_7-p_8 $v=1365$.

N° 7. — Premier centre: p_1-p_2 $v=290$, donne une limite inférieure. Mais la position de ce centre est en tout cas au-dessous de $n=2$, car p_3 est évidemment influencé très fortement par le 2^e centre, et dès lors le fait que p_1 , situé à une octave de p_2 , est plus renforcé par le premier centre que ne l'est p_3 situé à une quinte prouve que le centre doit être plus bas que $n=2$.

Rp lim. inf. p_3-p_5 $v=708$; lim. sup. p_4-p_5 $v=783$, valeur probablement plus éloignée que la limite inférieure. — Rb p_6-p_8 $v=1358$.

N° 8. — Premier centre p_1-p_2 $v=283$. Rp p_3-p_5 $v=725$. Rb p_6-p_8 $v=1395$.

N° 9. — L'influence du premier centre est ici particulièrement nette, puisque p_1 et p_2 ont les deux plus grandes amplitudes. Il est possible que p_3 soit encore sous l'influence de ce centre. La détermination de la résonance buccale, vu la distribution des amplitudes, est assez difficile.

Premier centre lim. inf. p_1-p_2 $v=271$; lim. sup. p_1-p_3 $v=310$.

Rp p_3-p_5 $v=780$ lim. inf.; lim. sup. p_4-p_5 $v=827$ (trop élevé).

Rb lim. inf. p_6-p_8 $v=1357$; lim. sup. p_6-p_8 $v=1414$.

N° 10. Cette onde manifeste aussi très nettement l'action du premier centre. Les résonances supérieures paraissent en contact, et le calcul barycentrique ne peut donner que des résultats assez peu sûrs.

Premier centre lim. inf. p_1-p_2 $v=348$; lim. sup. p_1-p_3 $v=382$.

Rp lim. inf. p_3-p_5 $v=814$; lim. sup. p_4-p_5 $v=842$. Il est vrai que p_6 peut être influencé par Rp, et la limite serait trop basse; mais il se peut aussi d'autre part que p_5 soit influencé par Rb, ce qui produirait une erreur en sens contraire; la vraie valeur n'est pas loin du chiffre proposé.

Rb p_6-p_7 $v=1268$ (éventuellement lim. inf.).

Cette voyelle nous montre donc encore l'existence de trois centres de renforcement. La moyenne des résultats, d'où j'exclus l'onde n° 10 trop anormale, donne:

pour le premier centre $v=283$ (ré₃, d')

pour Rp $v=737$ (sol $\flat_4$, ges'')

„ Rb $v=1301$ (mi₅—mi $\sharp_5$, e'''—eis''').

L'intervalle des deux résonances supérieures est de 1.815 (septième mineure).

Sauf une exception (n° 9), le 4^e son partiel a la plus forte amplitude; le maximum d'intensité correspond à p_7 ou p_8 .

Voyelle e.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	187	2.1	31.3	1	190	5.0	79.4	9	191	4.8	69.6	5	193	0.8	21.0	0
2	374	6.7	100.0	30	380	6.3	100.0	55	382	4.3	62.3	17	386	3.8	100.0	13
3	561	3.4	50.7	18	570	4.6	73.0	66	573	6.9	100.0	100	579	3.7	97.3	27
4	748	1.1	16.4	3	760	2.6	41.3	37	764	0.9	13.0	3	772	1.2	31.6	5
5	935	1.3	19.4	7	950	1.1	17.5	11	955	1.5	21.8	13	965	0.8	21.0	4
6	1122	0	0	0	1140	1.6	25.4	33	1146	0.8	11.6	5	1158	1.3	34.2	14
7	1309	0.6	8.9	3	1330	1.2	19.0	26	1337	1.8	26.1	36	1351	1.1	29.0	14
8	1496	3.0	44.8	100	1520	2.0	31.7	93	1528	1.2	17.4	22	1544	1.3	34.2	25
9	1683	1.0	14.9	13	1710	1.9	30.2	100	1719	1.6	23.2	51	1737	2.3	60.5	100
10	1870	0.3	4.5	1	m p ₁₀ -p ₁₉ 0.2 (3.2 %)				1910	0.2	2.9	1	1930	0.2	5.3	1
11	2057	0.1	1.5	0					2101	0.5	7.2	7	2123	0.1	2.6	0
12	2244	0.1	1.5	1					2292	0	0	0	2316	0.2	5.3	1

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	194	2.0	39.2	1	194	6.2	82.5	8	197	2.6	35.1	1	199	5.0	77.0	1
2	388	5.1	100.0	24	388	4.2	55.9	14	394	5.9	79.7	28	398	5.7	87.8	28
3	582	3.4	66.6	24	582	7.5	100.0	100	591	7.4	100.0	100	597	6.5	100.0	83
4	776	0.8	15.7	2	776	1.0	13.3	3	788	1.5	20.3	7	796	2.7	41.6	24
5	970	0.7	13.7	3	970	1.4	18.6	10	985	0	0	0	995	0.8	12.3	4
6	1164	1.4	27.4	16	1164	1.8	23.9	24	1182	1.4	18.9	15	1194	1.1	16.9	10
7	1358	1.5	29.4	24	1358	1.1	14.6	12	1379	1.4	18.9	24	1393	1.6	24.6	27
8	1552	0.9	17.6	11	1552	1.2	16.0	19	1576	1.7	23.0	38	1592	1.5	23.1	31
9	1746	2.0	39.2	76	1746	1.1	14.6	19	1773	1.0	13.5	18	1791	2.4	37.0	100
10	1940	2.1	41.2	100	1940	0.2	2.7	1	1970	0.3	4.1	2	1990	0.3	4.6	2
11	2134	0.3	5.9	2	2134	0	0	0	2167	0.1	1.4	0	2189	0.2	3.1	1
12	2328	0.8	15.7	22	2328	0.4	5.3	5	2364	0.1	1.4	1	2388	0.3	4.6	3
13	2522	0.2	3.9	2												

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	204	2.5	33.8	1	205	2.8	35.0	1
2	408	4.6	62.1	17	410	7.1	88.8	33
3	612	7.4	100.0	100	615	8.0	100.0	100
4	816	2.1	28.6	14	820	3.5	43.8	33
5	1020	1.0	13.5	5	1025	1.6	20.0	11
6	1224	1.9	25.8	26	1230	0.8	10.0	4
7	1428	1.7	23.1	27	1435	1.2	15.0	12
8	1632	1.8	24.5	43	1640	1.4	17.5	12
9	1836	0.7	9.5	8	1845	1.6	20.0	33
10	2040	0.5	6.8	6	2050	0.5	6.3	5
11	2244	0.1	1.4	0	2255	0.2	2.5	1
12	2448	0.3	4.1	3	2460	0.2	2.5	1

Remarques. — N° 1. — On voit deux renforcements principaux (p_1-p_3 , p_8-p_9) et un renforcement secondaire (p_5) faiblement dessiné. Le renforcement le plus élevé, p_3-p_9 , indique naturellement la résonance buccale, dont le centre Rb est alors p_7-p_9 $n=8.09$ $v=1513$. — A s'en tenir seulement à la distribution des amplitudes p_1-p_4 , on ne trouve vers le bas qu'un seul centre dont le maximum est marqué en p_2 . Les amplitudes décroissent assez régulièrement dans les deux sens, l'amplitude à la quinte p_3 étant presque le double de sa valeur à l'octave inférieure p_1 ; et il suffirait, pour expliquer la différence des amplitudes p_1 et p_4 (octaves de p_2) de placer le centre un peu au-dessous de $n=2$.

Mais ici intervient un facteur qu'on retrouvera souvent par la suite, la résonance secondaire p_5 , d'autant mieux marquée que p_6 est nul. Déjà M. Pipping, dans ses recherches sur les voyelles finnoises, a appelé l'attention sur la présence de résonances secondaires, qu'on ne peut attribuer qu'à des renforcements à l'octave de centres de résonance, ou à des sons combinatoires entre deux centres (sons différentiels ou additionnels du type $p \pm q$). Dans le cas présent, p_5 peut être regardé, soit comme l'octave du centre inférieur, soit comme le son différentiel entre Rb et ce centre. Le centre de cette résonance secondaire est situé vraisemblablement un peu au-dessous de p_5 , si on admet qu'elle influence encore l'amplitude p_4 . Si c'est une octave, le centre inférieur est tout près de $n=2.5$. Si c'est un son différentiel, comme Rb a pour rang $n=8.09$, celui du centre inférieur serait supérieur à $n=3$. De toute façon le centre de la résonance inférieure (supposée unique) est beaucoup au-dessus de la valeur $n=2.11$ donnée par la construction barycentrique p_1-p_3 qui semble la plus naturelle, et vraisemblablement plus près de p_3 que de p_2 . Ce résultat paradoxal le devient encore davantage si on tient compte de l'inégalité des amplitudes p_1 et p_4 , dont la plus faible est pourtant la plus voisine de ce centre. — Les difficultés disparaissent au contraire si, par analogie avec le résultat des analyses effectuées sur les deux voyelles précédentes, on admet l'existence de deux résonances inférieures en contact, dont les centres sont situés l'un au-dessous, l'autre

au-dessus de $n=2$, et qui, agissant ensemble sur p_2 , lui donnent sa forte amplitude. On obtient alors :

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=329$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=468$; lim. sup. p_3-p_4 $v=596$.

Rb p_7-p_9 $v=1513$.

N° 2. — L'existence de deux centres dans la région de renforcement p_1-p_4 ressort déjà de la distribution des amplitudes; car on ne s'explique pas autrement pourquoi, à l'octave p_1 , l'amplitude décroît moins qu'à la quinte p_3 , et reste double de l'octave supérieure p_4 . — D'autre part on retrouve en p_6 une résonance secondaire qui, octave ou son différentiel, suppose un centre de résonance au-dessus de $n=2$, et probablement même de $n=2.5$.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=295$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=519$; lim. sup. p_3-p_4 $v=638$.

Rb p_7-p_9 $v=1547$ (lim. inf. si p_7 est influencé par la résonance secondaire p_6).

N° 3. — Le premier centre se dessine nettement, l'amplitude p_1 étant supérieure à celle de p_2 . Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=281$. On a pour Rb p_8-p_{10} $n=8.67$ $v=1656$ (cette valeur ne peut être fixée que par la considération des intensités, et pourrait être une limite supérieure).

En p_5 et p_7 , deux résonances secondaires, dont p_5 paraît être plutôt le son différentiel et p_7 l'octave de Rp. Comme elles sont en contact par p_6 , et que p_7 peut subir encore l'influence de Rb, on ne peut en déterminer exactement les centres; mais toutes deux semblent donner pour Rp une valeur de n supérieure à 3. En tout cas Rp doit être très voisine de $n=3$, car à distance de quarte (p_4) l'amplitude tombe à 13% de sa valeur maxima. On a :

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=565$; lim. sup. p_3-p_4 $v=596$.

N° 4. — V. les remarques du n° 1. Le renforcement secondaire p_5-p_7 , s'il n'a qu'un centre unique $n=6.09$, pourra être regardé comme octave de Rp (plutôt que comme son différentiel, ce qui donnerait pour Rp une valeur $n=2.62$ inférieure à la limite inférieure $n=2.70$ trouvée directement). Il pourrait du reste y avoir deux centres (octave et son différentiel) impossibles à isoler. On a :

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=353$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=521$; lim. sup. p_3-p_4 $v=627$.

Rb p_8-p_{10} $v=1681$.

N° 5. — La résonance secondaire s'étend sur p_5-p_8 , bien que p_8 doive subir l'influence de p_9 . Elle est probablement constituée par deux centres (octave et son différentiel) qu'on ne peut isoler; la valeur qu'on en tirerait pour Rp est assez voisine de $n=3$.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=328$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=493$; lim. sup. p_3-p_4 $v=619$.

Rb p_9-p_{10} $v=1845$.

N° 6. — Il est surprenant de voir la résonance secondaire p_6 avec une plus forte amplitude que p_8 .

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=272$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=524$; lim. sup. p_3-p_4 $v=605$.

Rb (p_8) $v = 1552$.

N° 7. — Résonance secondaire en p_6 (octave de Rp).

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v = 333$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v = 524$; lim. sup. p_3-p_4 $v = 624$.

Rb p_7-p_9 $v = 1556$ (lim. inf. si p_7 est influencé par p_6).

N° 8. — Dans la résonance secondaire p_6-p_7 (peut-être encore influencée par Rb) semblent se fondre deux centres.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v = 304$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v = 557$; lim. sup. p_3-p_4 $v = 653$.

Rb p_8-p_{10} $v = 1735$.

N° 9. — Dans la résonance secondaire p_5-p_6 (v. n° 6) se confondent les deux centres (octave et son différentiel).

Premier centre lim sup. p_1-p_2 $v = 306$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v = 551$; lim. sup. p_3-p_4 $v = 657$.

Rb p_7-p_8 $v = 1544$ (v. n° 7).

N° 10. — Même remarque quant aux résonances secondaires.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v = 384$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v = 576$; lim. sup. p_3-p_4 $v = 676$.

Rb p_8-p_{10} $v = 1792$.

Comme il ressort des remarques ci-dessus, la résonance buccale se laisse aisément déterminer. L'apparition constante de résonances secondaires amène à postuler l'existence, au voisinage du 3^e son partiel, d'un centre de résonance qui ne peut être que la résonance de l'arrière-bouche. Pour expliquer les fortes amplitudes du son fondamental, on est obligé d'admettre aussi l'action d'un premier centre. Les deux résonances inférieures se sont donc rapprochées, parce que Rp a baissé; on ne peut tirer des analyses que des valeurs limites. Les deux groupes principaux de renforcement, p_1-p_4 , p_7-p_{10} , sont séparés par des amplitudes généralement plus faibles, mais encore notables (résonances secondaires).

On a en moyenne :

Premier centre lim. sup. $v = 322$ mi_3-e' .

Rp lim. inf. $v = 533$ ut $\sharp_4-cis''$ }
 lim. sup. $v = 629 < mi_4-e''$ } interv. 1.18 seconde augm.
 moyenne $v = 581 > ré_4-d''$

Rb $v = 1644$ la_5-as'''

Rapport Rp/Rb = 2.839, pas tout à fait une douzième.

Le maximum d'amplitude se trouve en p_2 ou p_3 (Rp); le maximum d'intensité est plus souvent en I_1 que dans la résonance buccale (8^e—10^e sp.).

Voyelle é.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	187	2.8	18.5	1	191	3.5	18.1	1	196	0.2	1.5	0	207	2.2	22.9	1
2	374	15.1	100.0	100	382	19.4	100.0	100	392	13.6	100.0	100	414	9.6	100.0	100
3	561	0.8	5.3	1	573	0.3	1.5	0	588	0.8	5.9	1	621	0.3	3.1	0
4	748	0.3	2.0	0	764	1.0	5.6	1	784	0.4	2.9	0	828	0.6	6.2	2
5	935	1.0	6.6	3	955	1.2	6.2	2	980	0.9	6.6	3	1035	1.7	17.7	20
6	1122	0.4	2.6	1	1146	0	0	0	1176	0.8	5.9	3	1242	1.1	11.4	13
7	1309	0.6	4.0	2	1337	0.6	3.1	1	1372	0.5	3.7	1	1449	0.7	7.3	6
8	1496	0.8	5.3	4	1528	0.2	1.0	0	1568	0.4	2.9	1	1656	1.8	18.7	55
9	1683	0.6	4.0	4	1719	0.8	4.1	4	1764	1.1	8.1	14	1863	0.5	5.4	5
10	1870	0.9	6.0	9	1910	0.7	3.6	3	1960	1.2	8.8	20	2070	2.3	23.9	1
11	2057	1.0	6.6	12	2101	0.8	4.1	5	2156	0.5	3.7	4	2277	0.7	7.3	17
12	2244	0.6	4.0	6	2292	0.6	3.1	4	2352	0.5	3.7	5	2484	0.6	6.2	13
13													2691	0.4	4.2	8

m p₁₃-p₁₉ 0,2 (1,3 %) m p₁₃-p₁₉ 0,1 (0,5 %)

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	209	2.9	29.6	1	209	0.6	5.7	0	211	2.9	37.1	3	212	4.8	52.8	7
2	418	9.8	100.0	66	418	10.7	100.0	100	422	7.8	100.0	100	424	9.1	100.0	100
1	627	2.3	23.5	8	627	0.7	6.6	1	633	4.2	53.8	62	636	4.0	44.0	43
4	836	0.5	5.1	1	836	0.4	3.8	0	844	0.8	10.2	4	848	1.1	12.1	5
5	1045	1.3	13.3	7	1045	0.8	7.5	4	1055	0.5	6.4	3	1060	0.6	6.6	3
6	1254	0.9	9.2	5	1254	0.3	2.8	0	1266	1.1	14.1	19	1272	1.0	11.0	10
7	1463	1.0	10.2	8	1463	1.1	10.4	12	1477	0.4	5.1	3	1484	0.5	5.5	3
8	1672	1.1	11.2	14	1672	0.8	7.5	9	1688	0.9	11.5	21	1696	1.1	12.1	22
9	1881	0.4	4.1	2	1881	0.5	4.7	4	1899	0.6	7.7	13	1908	1.6	17.6	64
10	2090	2.4	24.5	100	2090	1.4	13.2	44	2110	1.4	18.0	83	2120	0.8	8.8	18
11	2299	0.2	2.0	1	2299	0.2	1.9	1	2321	0.5	6.4	10	2332	0.5	5.5	9
12	2508	0.7	7.1	13	2508	0.5	4.7	6	2532	0.8	10.2	36	2544	0.7	7.7	22
13									2743	0.6	7.7	22	2756	0.3	3.3	4

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	214	1.7	40.5	1	216	2.2	28.9	2
2	428	2.9	69.0	21	432	7.6	100.0	100
3	642	4.2	100.0	100	648	5.1	67.1	100
4	856	1.4	33.3	18	864	0.1	1.3	0
5	1070	0.7	16.7	8	1080	0.8	10.5	6
6	1284	0.7	16.7	11	1296	1.1	14.5	17
7	1498	1.0	23.8	31	1512	0.3	3.9	2
8	1712	0.7	16.7	21	1728	0.8	10.5	18
9	1926	0.6	14.3	20	1944	1.0	13.2	35
10	2140	0.8	19.0	41	2160	0.2	2.6	0
11	2354	0.2	4.8	2	2376	0.2	2.6	3
12	2568	0.7	16.7	45	2592	0.4	5.3	8
13	2782	0.2	4.8	3				

Remarques. N° 1. — On voit quatre régions de renforcement: p_1-p_3 , p_5 , p_8 et $p_{10}-p_{11}$. Cette dernière représente la résonance buccale, dont le centre est donné par la construction barycentrique $p_{10}-p_{11}$ $n=10.52$ $v=1966$. — La première renferme à la fois R_p et le premier centre très étroitement mêlés. Le premier centre ne peut être isolé; sa lim. sup. p_1-p_2 $n=1.84$ $v=344$ n'a aucune valeur pratique, p_2 étant fortement influencé par R_p . Pour R_p les lim. inf. p_1-p_3 $v=350$, et lim. sup. p_2-p_3 $n=2.05$ $v=385$ sont aussi de peu de valeur.

Les résonances intermédiaires sont des renforcements secondaires. Pour la première on a p_4-p_6 $n=5.06$, octave de R_p , qui serait alors à $n=2.53$. L'autre a son centre en p_8 ; c'est un son différentiel qui, en supposant exacte la valeur de R_b , placerait R_p à $n=2.52$.

On obtient ainsi pour R_p deux valeurs concordantes $v=473$, mais s'écartant beaucoup de la limite supérieure fournie directement par les amplitudes p_2-p_3 . Il est vrai que cette „limite supérieure“ est assez illusoire, car p_3 est sans doute dû seulement à R_p , tandis que p_2 est fortement influencé par le premier centre, et R_p se trouve par suite sûrement au dessus de $n=2.05$. Mais, vu la divergence des résultats, il est prudent de se tenir sur la réserve.

N° 2. — Groupe inférieur de renforcement comme n° 1. De p_9 à p_{12} on voit une série de fortes amplitudes, et deux renforcements secondaires p_4-p_5 et p_7 . Le groupe p_4-p_5 , $n=4.55$, serait l'octave de R_p ($n=2.28$). Le renforcement p_7 doit être le son différentiel. Le groupe p_9-p_{12} ne saurait être constitué seulement par R_b , mais doit renfermer un renforcement secondaire qui ne saurait alors être que le son additionnel $R_p + R_b$; mais ces deux résonances se recouvrent en partie. Il est pourtant probable que p_9-p_{10} sont dus surtout à R_b , qui aurait alors pour centre $n=9.47$ $v=1809$. Le son différentiel ayant pour centre p_7-p_8 $n=7.25$, on retrouverait pour R_p $n=2.22$. Le son additionnel hypothétique influencerait

surtout sur p_{11} — p_{12} , et aurait pour lim. inf. (p_{11} peut être sous l'influence de Rb) $n=1.143$, ce qui placerait Rp tout près de $n=2$.

Il semblerait donc qu'on pût accepter les valeurs :

Rp aux environs de $n=2.2$ $v=420$.

Rb $v=1809$.

Mais ces résultats sont bien hypothétiques.

N° 3. — La résonance Rb est bien marquée, et a pour valeur p_9 — p_{10} $v=1866$. La distribution des amplitudes p_1 — p_3 fait croire que Rp est nettement au-dessus de $n=2$. On peut admettre que c'est son octave qui influence p_4 — p_5 , et que le son différentiel agit vers p_6 — p_7 ; mais ces deux résonances secondaires sont mêlées et ne se prêtent pas à la détermination de Rp.

N° 4. — La forte amplitude p_1 marque une action du premier centre. La résonance buccale se dessine en p_{10} et a pour centre p_9 — p_{11} $v=2194$.

Les résonances secondaires sont toutes deux très nettes. En p_4 — p_6 $n=5.15$, on a l'octave de Rp ($n=2.58$). En p_8 se marque un son différentiel dont le centre a pour lim. inf. p_7 — p_8 $n=7.72$, et pour lim. sup. (éloignée, car p_9 est influencé surtout par Rb) p_7 — p_9 $n=7.91$. On peut en placer le centre vers $n=7.80$, d'où l'on tire pour Rp la valeur $n=2.26$. On aurait pour Rp les valeurs très hypothétiques $v=467 < Rp < v=534$. Mais il semble, à considérer les amplitudes, que Rp soit cependant plus bas.

N° 5. — Les amplitudes p_1 et p_3 sont plus fortes que dans les ondes précédentes, ce qui indiquerait un déplacement relatif des centres inférieurs. On aurait pour Rp lim. inf. p_2 — p_3 $n=2.19$ $v=458$. La position de Rb est évidente: p_9 — p_{11} $n=9.93$ $v=2075$.

Les deux résonances secondaires en p_5 et p_7 — p_8 sont trop fortes pour être de simples illusions. On a :

p_5 — p_6 $n=5.15$ octave de Rp $n=2.58$.

p_7 — p_8 $n=7.52$ son différentiel, d'où Rp $n=2.41$.

On a donc en seconde approximation :

Rp lim. inf. $v=504$, lim. sup. $v=539$.

N° 6. — De la considération directe des amplitudes p_1 — p_3 on ne peut évidemment rien tirer. Rb a pour centre p_9 — p_{11} $n=9.86$ $v=2041$. Les résonances secondaires sont très nettes :

p_3 — p_6 $n=4.94$, octave de Rp, donne Rp $n=2.47$.

p_7 — p_8 $n=7.42$, son différentiel, donne Rp $n=2.44$.

Si on songe que ces résonances sont indépendantes l'une de l'autre, il semble difficile de ne pas accepter des valeurs aussi concordantes. On aurait donc :

Rp lim. inf. $v=510$, lim. sup. $v=516$.

N° 7. — La forte amplitude p_3 semble indiquer que Rp est à quelque distance de $n=2$. La position de Rb est donnée par p_9 — p_{11} $n=9.96$ $v=2012$. Cette valeur peut être affectée de deux erreurs en sens contraire, si p_9 et p_{12} sont influencés par les résonances secondaires marquées en p_8 et p_{12} .

On voit 3 résonances secondaires; en p_6 ce doit être l'octave de Rp, en p_8 le son différentiel et en p_{12} l'indication d'un son additionnel. Comme p_7 , à la limite entre les deux

résonances secondaires, doit subir l'influence des deux, on obtient pour l'octave une lim. sup. p_5-p_7 $n=5.95$, sûrement trop élevée, qui donne pour Rp la valeur par excès $n=2.98$. La lim. inf. (encore trop élevée si p_5 est encore influencé par Rp, ce qui n'est pas impossible vu l'amplitude de p_4) serait p_5-p_6 $n=5.69$, d'où pour Rp $n=2.85$.

On aura pour le son différentiel lim. inf. p_7-p_8 $n=7.69$, d'où Rp $n=2.27$. Comme p_9 est évidemment influencé par Rb, la valeur p_7-p_9 $n=8.10$ est une lim. sup., d'où pour Rp $n=1.86$, lim. inf. beaucoup trop basse.

Pour le son additionnel, on a comme lim. inf. (entachée d'une forte erreur pour le facteur p_{11}) $p_{11}-p_{13}$ $n=12.05$, d'où Rp $n=2.06$; la lim. sup. serait $p_{12}-p_{13}$ $n=12.42$, d'où Rp $n=2.46$.

D'autre part la considération directe des amplitudes p_2-p_3 donnerait pour Rp une valeur $n=2.15$, lim. inférieure ou supérieure selon que l'influence de Rp s'étend ou non au-dessous de p_2 , et que le premier centre agit plus ou moins fortement sur p_2 . En tenant compte de toutes les valeurs trouvées pour Rp, et en éliminant les extrêmes 1.86 et 2.98 visiblement très éloignés, il semble qu'on puisse tenir la valeur $n=2.35$, $v=496$ pour assez approchée, sans se faire illusion sur le degré d'exactitude qu'elle comporte.

N° 8. — Le son fondamental a une amplitude plus forte que p_3 . La forte amplitude p_4 semblerait indiquer un plus grand écart entre Rp et le premier centre.

Rb a pour centre p_8-p_{10} $n=8.91$ $v=1889$ (peut-être lim. inf.), valeur plus basse que dans les ondes précédentes. Si l'on admet, d'après la distribution des amplitudes p_1-p_4 , que Rp doive être située à un rang plus élevé que précédemment, il s'ensuit que l'octave de Rp et le son différentiel doivent être très voisins. En fait on n'aperçoit qu'une résonance en p_6 , dont le centre est p_5-p_7 $n=5.95$; conçue comme octave ou son différentiel, cette résonance donne pour Rp la valeur $n=2.98$ (octave) ou 2.96 (son différ.). Un son additionnel est indiqué en p_{12} , dont le centre $p_{11}-p_{13}$ $n=11.87$ met Rp à $n=2.96$. La limite inférieure p_1-p_3 obtenue directement est $n=2.44$ $v=517$. La moyenne des valeurs fournies par les résonances serait $v=630$. Rp doit être située entre ces 2 valeurs, et probablement plus près de la limite supérieure.

N° 9. — L'amplitude p_3 doit être due surtout à Rp. Comme le premier centre agit encore sur p_2 , on a pour Rp une lim. inf. p_2-p_4 $n=2.82$, $v=603$. Rb p_9-p_{11} $n=9.38$, $v=1997$.

Les valeurs obtenues donneraient pour les résonances secondaires: octave de Rp lim. inf. $n=5.64$; son différentiel lim. sup. $n=6.56$. Il est évident a priori qu'elles doivent se confondre. On constate en effet l'existence, dans la région p_5-p_8 , de résonances secondaires qu'il n'est pas possible d'isoler.

N° 10. — Comme le premier centre agit sur p_2 , la forte amplitude p_3 montre que Rp est située sans doute plus près de $n=3$ que de $n=2$, donc au-dessus de $n=2.5$. La lim. inf. (très éloignée) p_2-p_3 donne $n=2.40$ $v=518$. Pour Rb on a p_8-p_9 $n=8.56$ $v=1849$.

L'octave de Rp et le son différentiel doivent ici aussi être très rapprochés, et on les trouve mêlés en p_5-p_6 . Le centre commun p_5-p_7 serait $n=5.77$, qui, conçu comme octave, donne pour Rp $n=2.88$, et, comme son différentiel, $n=2.79$. Ce raisonnement est bien en-

tendu entaché d'erreur; mais il porte à croire que Rp est située au-dessus de $n = 2.5 \text{ } v = 540$ (peut-être vers $n = 2.75 \text{ } v = 590$).

En résumé, s'il a été facile de déterminer directement le centre de la résonance buccale, il n'en est pas de même des deux autres. Comme elles sont en contact à l'octave du son fondamental, on ne peut les dégager que par la considération des résonances secondaires. Pour le premier centre, il a même été impossible d'obtenir autre chose qu'une limite supérieure visiblement affectée d'une très forte erreur, et par suite sans aucune valeur pratique. Pour Rp on a pu indiquer des valeurs limites, et, dans quelques cas, obtenir des approximations satisfaisantes.

En ne retenant que les n^{os} 4, 5, 6, 7, 8 et 10 pour la détermination de Rp, on arrive aux valeurs moyennes:

$$\left. \begin{array}{l} \text{lim. inf. } v = 494 < \text{si}^\sharp_3 - \text{his}' \\ \text{lim. sup. } v = 555 \text{ ré } b_4 - \text{des}'' \end{array} \right\} \text{interv. 1.204 tierce mineure;}$$

$$\text{moyenne } v = 528 < \text{ut}^\sharp_4 - \text{cis}''.$$

$$\text{Rb } v = 1999 \text{ si}^\sharp_5 - \text{his}'''.$$

Rapport Rb/Rp = 3.79, plus d'une quatorzième ($ut_1 - si_2$).

Sauf dans un cas (n^o 5), c'est le second ou le troisième sp, donc Rp, qui offre le maximum d'amplitude et d'intensité.

Voyelle œ

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	179	4.8	44.9	2	181	2.7	22.9	1	183	2.0	15.6	0	184	3.4	28.1	1
2	358	4.7	43.9	7	362	4.4	37.3	6	366	7.8	60.9	6	368	6.6	54.5	11
3	537	10.7	100.0	83	543	11.8	100.0	100	549	12.8	100.0	75	552	12.1	100.0	80
4	716	0.6	5.6	0	724	0.4	3.4	0	732	1.3	10.2	1	736	2.1	17.3	5
5	895	6.4	59.8	82	905	6.7	56.8	89	915	8.3	64.8	88	920	7.3	60.3	81
6	1074	5.9	55.1	100	1086	5.9	50.0	98	1098	6.1	47.7	67	1104	4.7	38.8	49
7	1253	3.5	32.7	49	1267	3.0	25.4	34	1281	6.4	50.0	100	1288	5.8	47.9	100
8	1432	1.4	13.1	10	1448	1.4	11.9	10	1464	1.5	11.7	7	1472	0.6	5.0	1
9	1611	0.6	5.6	2	1629	0.3	2.5	1	1647	0.4	3.1	1	1656	0.8	6.6	3
10					1810	0.5	4.2	2					1840	0.5	4.1	2
11					1991	0.3	2.5	1					2024	0.3	2.5	1

$$\ln p_{10}-p_{19}=0.3 \text{ (2.3 \%)}_0$$

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	186	1.1	9.0	0	186	3.5	25.5	0	188	2.0	23.0	0	194	2.1	19.6	0
2	372	7.4	60.7	11	372	5.9	43.1	3	376	4.6	52.9	5	388	9.7	90.6	28
3	558	12.2	100.0	66	558	12.6	92.0	31	564	8.7	100.0	41	582	10.7	100.0	78
4	744	1.6	13.1	2	744	2.6	19.0	2	752	2.3	26.4	5	776	3.3	35.5	13
5	930	7.1	58.2	62	930	13.7	100.0	100	940	7.3	84.0	82	970	7.3	68.2	100
6	1116	4.8	39.3	41	1116	10.5	76.6	86	1128	6.7	77.0	100	1164	5.3	49.5	75
7	1302	6.4	52.5	100	1302	2.0	14.6	4	1316	1.2	13.8	4	1358	5.0	46.7	99
8	1488	0.7	5.7	2	1488	1.9	13.9	5	1504	0.7	8.0	2	1552	0.4	3.7	1
9	1674	0.3	2.5	0	1674	0.3	2.2	0	1692	0.4	4.6	1	1746	1.0	9.3	6
10	1860	0.4	3.3	1	1860	0.3	2.2	0								
11	2046	0.2	1.6	0	2046	0.1	0.7	0								

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	194	3.3	35.6	1	198	3.6	25.4	0
2	388	2.5	37.2	2	396	5.9	41.5	3
3	582	9.2	100.0	54	594	14.2	100.0	41
4	776	0.5	5.4	0	792	2.1	14.8	2
5	970	7.2	78.5	92	990	13.4	94.4	100
6	1164	6.2	67.6	100	1188	8.2	57.7	54
7	1358	1.9	20.7	13	1386	1.6	11.3	3
8	1552	0.9	9.8	4	1584	1.4	9.9	3
9	1746	0.5	5.4	2	1782	0.2	1.4	0
10					1980	0.5	3.5	0
11					2178	0.1	0.7	0

Remarques. N° 1. — L'existence du premier centre résulte du fait que l'amplitude de p_4 , situé entre les deux amplitudes maxima, et à faible distance de chacune, est presque nulle, tandis que p_1 , à la distance d'une douzième, est encore 45 % de l'amplitude maxima. Le 2° sp. est sous l'influence de ce premier centre et de Rp, qui se marque par le maximum p_3 . On a donc :

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=268$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $n=2.74$ $v=490$; lim. sup. p_3-p_4 $n=3.05$ $v=546$.

La résonance buccale est marquée par p_5-p_6 $n=5.48$ $v=981$.

Vers le haut les amplitudes ne décroissent que lentement. Le fossé profond p_4 , et la décroissance d'amplitude de p_5 à p_6 montrent que le centre de Rb est sûrement entre les 5° et 6° sp. (plutôt même plus près du 5° que du 6°); la seule explication plausible des amplitudes p_7 et p_8 est donc la présence d'un renforcement secondaire. Comme p_7 peut encore subir l'influence de Rb, on a comme lim. inf. du centre de ce renforcement (supposé unique) p_7-p_8 $n=7.29$. Ce ne peut être ni l'octave de Rp (alors Rp $n=3.60$) ni un son additionnel (Rp $n=1.81$). Comme on peut voir en p_8 un son additionnel (p_3+p_5), il se peut qu'on ait, confondus en une seule résonance, l'octave de Rp et le son additionnel. Il suffirait d'admettre que l'octave de Rp, en tout cas très voisine de p_6 , renforce ce sp. En ce cas le centre de Rb serait encore plus bas que $n=5.48$; le son additionnel serait de son côté plus haut que $n=7.29$, et on aurait un accord satisfaisant. Mais ces considérations sont hypothétiques; on s'en tiendra aux valeurs directement calculées.

N° 2. — Comme n° 1, sauf que p_1 est plus faible. Vers p_7-p_8 résonance secondaire (probablement octave et son additionnel).

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=293$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=500$; lim. sup. p_3-p_4 $v=548$. Rb p_5-p_6 $v=990$.

N° 3. = Le renforcement secondaire est plus net, parce que p_7 est plus fort que p_6 . Ce renforcement, par son voisinage avec Rb, rend assez incertaine la valeur qu'on peut trouver pour ce centre.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=329$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=494$; lim. sup. p_3-p_4 $v=565$.

Rb p_5-p_6 $v=986$ (lim. inf.?).

N° 4. — Même remarque. Il serait aisé, mais très aventureux, tant qu'on connaît mal les sons combinatoires d'une plaque comme celle du phonographe, d'expliquer p_7 comme son différentiel du second ordre $3-(2 \times 5)$.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=287$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=510$; lim. sup. p_3-p_4 $v=580$. — Rb p_5-p_6 $v=992$.

N° 5. Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=348$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=508$; lim. sup. p_3-p_4 $v=580$.

Rb p_5-p_6 $v=1004$.

N° 6. — Premier centre lim. inf. p_1-p_2 $v=300$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=523$; lim. sup. p_3-p_4 $v=590$.

Rb p_5-p_6 $v=1010$.

N° 7. — Premier centre lim. sup. $p_1=p_2$ $v=320$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=525$; lim. sup. $p_3=p_4$ $v=587$.

Rb p_5-p_6 $v=1030$.

N° 8. — L'existence du premier centre explique seule l'inégalité de décroissance de l'amplitude maxima dans les deux sens. La résonance secondaire p_7 est de nouveau fortement marquée.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=353$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=576$; lim. sup. p_3-p_4 $v=629$.

Rb p_5-p_6 $v=1051$.

N° 9. — Le premier centre est marqué par l'amplitude plus forte p_1 .

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=277$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=565$; lim. sup. p_3-p_4 $v=592$.

Rb p_5-p_6 $v=1059$.

N° 10. = Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=321$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=558$; lim. sup. p_3-p_4 $v=622$.

Rb p_5-p_6 $v=1065$.

Bien que le son fondamental soit assez bas (moyenne $187 < \text{sol}_2\text{-g}$), les résonances ne se laissent pas déterminer avec la précision désirable. La raison en est que Rp est déjà assez basse, et en contact avec le premier centre; ces deux résonances se recouvrent en partie. La résonance de l'arrière-bouche, dont le maximum est partout en p_3 , est séparé de la résonance buccale par un fossé profond en p_4 , qui contraste d'autant mieux avec la faible décroissance des amplitudes vers le bas.

Quant à la résonance buccale, dont le maximum est toujours en p_5 , c'est au contraire vers le haut que les amplitudes décroissent lentement, en contraste avec leur brusque croissance de p_4 à p_5 . La présence, dans certains cas, d'un maximum secondaire en p_7 semble mettre hors de doute l'existence d'un renforcement secondaire qui commence à la limite de Rb et doit même en partie recouvrir les renforcements dus à cette résonance. Comme le maximum de Rb et le maximum de cette résonance ne sont séparés que par un sp, et que leur intervalle (1,4, compris entre la quarte augmentée et la quinte diminuée, est faible, la détermination de Rb doit être affectée d'une certaine incertitude.

Le renforcement secondaire à son tour a paru comprendre l'octave de Rp et un son additionnel $Rp + Rb$, mais si étroitement confondus qu'on ne peut en tirer aucune aide pour la détermination des éléments combinés. Il faudrait évidemment, pour obtenir des résultats entièrement satisfaisants, descendre dans l'octave 1, assez bas pour que les deux centres inférieurs fussent séparés.

Sous ces réserves on a les valeurs moyennes suivantes:

Premier centre	lim. sup.	$v = 310$	$mi\flat_3-es'$.	
Rp	lim. inf.	$v = 525$	$< ut\sharp_4-cis''$	} interv. 1.112 (ton mineur);
	sup.	584	$> ré_4-d''$	
	moy.	554	$ré\flat_4-des''$.	
Rb	moy.	1017	$< ut_5-c'''$	(peut-être lim. inf.).

Rapport $Rb/Rp = 1.836$ (plus d'une septième mineure).

Le maximum d'amplitude (sauf une exception) est dans le premier groupe de renforcement, en p_3 . Le maximum d'intensité (sauf une exception) est dans le second, I_5 , I_6 ou I_7 .

Voyelle œ.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	196	2.5	21.6	0	200	3.8	23.3	0	204	3.5	33.3	1	208	2.8	25.9	1
2	392	1.8	15.5	1	400	3.5	21.5	2	408	3.2	30.5	4	416	0	0	0
3	588	11.6	100.0	84	600	16.3	100.0	100	612	10.5	100.0	95	624	10.8	100.0	100
4	784	2.9	25.0	9	800	3.9	23.9	8	816	3.7	35.2	21	832	2.4	22.2	9
5	980	7.6	65.5	100	1000	8.5	52.2	60	1020	6.5	61.9	100	1040	6.2	57.4	92
6	1176	2.5	21.6	16	1200	0.9	5.5	1	1224	3.0	28.6	31	1248	2.8	25.9	26
7	1372	0.4	3.4	0	1400	0.3	1.8	0	1428	0.9	8.6	4	1456	0.9	8.3	4
8	1568	0.5	4.3	1	1600	0.5	3.1	1	1632	0.9	8.6	5	1664	1.4	13.0	12
9	1764	0.6	5.2	2	1800	0.4	2.5	1	1836	0.4	3.8	1	1872	0.8	7.4	5
10					2000	0.7	4.3	2								

$$m_{p_{11}-p_{19}} = 0.3 (1.8 \%)$$

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	213	2.2	12.3	0	216	2.1	13.2	0	218	2.4	19.8	0	218	2.0	21.4	1
2	426	0.9	5.0	0	432	1.7	10.7	0	436	0.8	6.6	0	436	0.7	7.5	0
3	639	17.8	100.0	92	648	15.9	100.0	100	654	12.1	100.0	100	654	9.3	100.0	100
4	852	7.4	41.3	28	864	7.0	44.0	34	872	4.3	35.5	23	872	2.9	31.0	17
5	1065	11.1	62.0	100	1080	9.2	57.9	93	1090	7.3	60.3	100	1090	5.6	59.9	100
6	1278	1.1	6.1	2	1296	2.0	12.6	6	1308	2.0	16.5	11	1308	2.2	23.5	21
7	1491	0.7	3.9	1	1512	1.0	6.3	2	1526	1.3	10.7	6	1526	0.5	5.4	2
8	1704	0.7	3.9	1	1728	0.8	5.0	2	1744	1.1	9.1	6	1744	1.4	15.0	16
9	1917	0.5	2.8	1	1944	0.4	2.5	0	1962	0.6	5.0	2	1962	0.2	2.1	1

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	220	7.3	73.0	3	225	4.5	18.3	0
2	440	1.6	16.0	1	450	3.0	12.2	1
3	660	10.0	100.0	25	675	24.6	100.0	100
4	880	7.8	78.0	60	900	9.2	37.4	25
5	1100	8.1	81.0	100	1125	11.9	48.4	65
6	1320	2.3	23.0	12	1350	3.4	13.8	8
7	1540	2.2	22.0	14	1575	0.9	3.7	1
8	1760	0.2	2.0	0	1800	1.8	7.3	4
9	1980	1.2	12.0	7	2025	0.2	0.8	0

Remarques. — N° 1. — Une région continue de renforcement s'étend de p_1 à p_6 , avec 3 maxima en p_1 , p_3 et p_5 . Le premier manifeste l'action du premier centre, les deux autres les résonances Rp et Rb. Les 3 résonances sont donc en contact. Au delà de p_6 les amplitudes tombent à de faibles valeurs. On ne peut obtenir pour les résonances que des valeurs limites.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=278$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=602$ (affectée de 2 erreurs en sens contraire, et probablement plus approchée que la lim. sup.), lim. sup. p_5-p_4 $v=627$. Rb lim. inf. p_4-p_6 $v=974$; lim. sup. p_5-p_6 $v=1024$.

N° 2. — Comme n° 1. Deux résonances secondaires indiquées en p_8 (son additionnel $p_3 + p_5$) et p_{10} (octave de p_5).

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=296$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=604$; lim. sup. p_3-p_4 $v=638$.

Rb " " p_4-p_6 $v=954$; " " p_5-p_6 $v=1020$.

N° 3. — Comme l'amplitude ne décroît pas de p_7 à p_8 , il faut voir en p_8 l'influence d'un son additionnel.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=302$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=606$; lim. sup. p_3-p_4 $v=651$.

Rb " " p_4-p_6 $v=1010$; " " p_5-p_6 $v=1087$.

N° 4. — Il est singulier que p_2 soit nul; mais ce n'est que l'exagération accidentelle de la faiblesse de p_2 , qui se remarque souvent dans les autres ondes de cette voyelle. En p_8 son additionnel.

Premier centre indéterminable. Rp lim. sup. $p_3=p_4$ $v=661$.

Rb lim. inf. p_4-p_6 $v=1048$; lim. sup. p_5-p_6 $v=1107$.

N° 5. — Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=275$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=692$; lim. sup. p_3-p_4 $v=701$.

Rb " " p_4-p_6 $v=997$; " " p_5-p_6 $v=1105$.

N° 6. — La résonance secondaire n'est indiquée, d'ailleurs faiblement, que par la lente décroissance des amplitudes.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=313$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=695$; lim. sup. p_3-p_4 $v=715$.

Rb „ „ p_4-p_6 $v=1022$; „ „ p_5-p_6 $v=1117$.

N° 7. — V. la remarque des n°s 3 et 6. Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=272$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=698$; lim. sup. p_3-p_4 $v=711$.

Rb „ „ p_4-p_6 $v=1053$; „ „ p_5-p_6 $v=1138$.

N° 9. — Les résonances secondaires semblent situées en p_7 (octave de Rp?) et vers p_9 (son additionnel).

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=260$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=730$; lim. sup. p_3-p_4 $v=757$ (v. la rem. du n° 1).

Rb „ „ p_4-p_6 $v=1034$; „ „ p_5-p_6 $v=1148$.

N° 10. — Son additionnel bien marqué en p_8 .

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=345$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=677$; lim. sup. p_3-p_4 $v=776$.

Rb „ „ p_4-p_6 $v=1071$; „ „ p_5-p_6 $v=1174$.

En résumé la distribution des amplitudes montre un renforcement s'étendant jusque vers p_8 , souvent interrompu par un fossé entre p_1 et p_3 . Les trois centres de résonance sont en contact et ne se laissent pas isoler; les résonances secondaires ne sont non plus d'aucun secours. Les résultats du calcul donnent comme valeurs moyennes:

Premier centre lim. sup. 287 ré₃-d'.

Rp lim. inf. 666 mi #₄-es" } interv. 1.041 (demi-ton mineur),
 „ sup. 694 > fa₄-f" }
 moyenne 681 fa₄-f'.

Rb lim. inf. 1024₄ ut₅-c''' } interv. 1.083 (seconde diminuée),
 lim. sup. 1107 ré₅-des''' }
 moy. 1065 ut #₅-cis'''.

Rapport Rb/Rp 1.566 (quinte augmentée).

Le 3° sp a partout l'amplitude maxima, et presque toujours l'intensité maxima.

Voyelle *œ*

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	189	2.5	22.3	0	193	2.2	13.4	0	195	2.3	21.1	0	198	1.6	11.0	0
2	378	3.5	31.3	3	386	7.5	45.7	9	390	3.7	33.9	4	396	8.1	55.9	11
3	567	11.2	100.0	78	579	16.4	100.0	100	585	10.9	100.0	84	594	14.5	100.0	82
4	756	2.8	25.0	9	772	4.1	25.0	11	780	1.4	12.8	3	792	3.6	24.8	9
5	945	2.1	18.8	8	965	0.6	3.7	0	975	1.4	12.8	4	990	1.6	11.0	3
6	1134	3.3	29.5	26	1158	6.3	38.4	54	1170	2.1	19.3	13	1188	8.0	55.2	100
7	1323	5.5	49.1	100	1351	7.0	42.7	98	1365	5.1	46.8	100	1386	6.8	46.9	97
8	1512	1.7	15.2	13	1544	0.9	5.5	2	1560	1.3	11.9	8	1584	1.3	9.0	4
9	1701	0.3	2.7	0	1737	0.8	4.9	2	1755	0.7	6.4	3	1782	0.6	4.1	1
10					1930	1.4	8.5	8								
11					2123	0.3	1.8	0								

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	203	5.5	29.6	1	206	10.0	59.9	4	209	4.3	39.1	2	210	4.9	31.8	1
2	406	9.0	48.4	9	412	12.3	73.7	24	418	5.3	48.2	10	420	7.7	50.0	8
3	609	18.6	100.0	83	618	16.7	100.0	100	627	11.0	100.0	100	630	15.4	100.0	71
4	812	3.9	20.9	6	824	5.2	31.1	18	836	2.4	21.8	8	840	3.5	22.7	6
5	1015	2.8	15.1	5	1030	3.3	19.8	11	1045	2.6	23.6	15	1050	3.0	19.5	7
6	1218	10.2	54.8	100	1236	6.5	38.9	61	1254	5.1	46.4	86	1260	9.2	59.7	100
7	1421	1.3	7.0	2	1442	2.8	16.8	15	1463	0.8	7.3	33	1470	0.7	4.5	1
8	1624	0.5	2.7	0	1648	0.6	3.6	1	1672	0.5	4.5	1	1680	0.4	2.6	0
9	1827	1.5	8.1	5	1854	1.2	7.2	5	1881	0.5	4.5	2	1890	1.2	7.8	4
10					2060	0.7	4.2	2					2110	0.7	4.5	2
11					2266	0.3	1.8	0					2310	0.4	2.6	1
12													2520	0.9	5.8	4

m p₁₃-p₁₉ 0.3 (1.8 ‰)

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	211	4.9	26.1	1	217	3.1	32.9	1
2	422	10.7	56.9	14	434	3.7	39.2	7
3	633	18.8	100.0	100	651	9.4	100.0	100
4	844	4.5	23.9	10	868	2.9	30.8	17
5	1055	4.5	23.9	16	1085	1.7	18.0	9
6	1266	8.8	46.8	88	1302	4.4	44.6	88
7	1477	1.7	9.0	4	1519	0.5	5.3	1
8	1688	1.6	8.5	5	1736	0.7	7.4	4
9	1899	1.2	6.4	4	1953	0.8	8.5	7
10	2110	0.9	4.8	3				
11	2321	0.2	1.1	0				

Remarques. — N° 1. — Dans la suite ininterrompue d'amplitudes notables p_1-p_7 , on distingue d'abord p_3 et p_7 qui marquent le voisinage des centres Rp et Rb. L'existence d'un premier centre plus bas que Rp peut s'établir indirectement, en observant que, vers le bas, il faut aller jusqu'à la douzième (p_1) pour constater la même chute d'amplitude que, vers le haut, on rencontre à intervalle de quarte (p_4). L'amplitude p_5 , à égale distance de p_3 et de p_7 , paraît un peu forte; il est possible qu'elle trahisse un renforcement à l'octave de Rp. On a:

Premier centre lim. sup. $p_1=p_2$ $v=299$.

Rp lim. inf. p_1-p_4 $v=559$; lim. sup. p_3-p_4 $v=607$. Rb p_6-p_8 $v=1295$.

N° 2. — L'existence du premier centre ne se dégage pas de la considération des amplitudes p_1-p_4 , car on pourrait, pour les expliquer, supposer que le centre de la résonance est au-dessous de $n=3$. Mais au-dessus de Rb, marquée par p_6-p_8 $n=6.61$ $v=1276$, on trouve en p_{10} une résonance secondaire qui semble être un son additionnel (p_3+p_7). Elle a pour centre approximatif p_9-p_{11} $n=9.80$ (un peu moins si p_{10} est trop fort), ce qui donne pour Rp une valeur $n=3.19$. Cette valeur (centre de Rp *au dessus* de $n=3$) oblige à faire le même raisonnement que ci-dessus. On a alors:

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=344$ (évidemment éloignée).

Rp lim. inf. p_2-p_4 $n=2.88$ $v=556$; lim. sup. p_3-p_4 $n=3.20$ $v=617$.

La considération de la résonance secondaire porte à croire que la limite supérieure est plus approchée que la limite inférieure.

N° 3. — Voir n° 1. Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=316$.

Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=558$; lim. sup. p_3-p_4 $v=606$. Rb p_6-p_8 $v=1347$.

N° 4. — Même remarque. Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=364$. Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=560$; lim. sup. p_3-p_4 $v=634$. — Rb p_5-p_7 $v=1251$.

N° 5. — Même remarque. En p_9 une résonance secondaire qui peut être à la fois le son additionnel et la douzième de p_3 .

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=329$. Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=567$; lim. sup. p_3-p_4 $v=644$. Rb p_5-p_7 $v=1198$.

N° 6. — Le premier centre est bien marqué par son action sur p_1 et p_2 . En p_9 on constate une résonance secondaire (son additionnel) dont le centre p_8-p_{10} est situé à $n=9.04$, d'où pour Rp $n=3.08$ $v=634$, sensiblement à la moyenne entre les valeurs limites directement obtenues. — Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=319$. Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=575$; lim. sup. p_3-p_4 $v=667$. Rb p_5-p_7 $n=5.96$ $v=1228$.

N° 7. — Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=324$. Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=596$; lim. sup. p_3-p_4 $v=665$. Rb p_5-p_7 $v=1210$.

N° 8. — Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=338$. Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=596$; lim. sup. p_3-p_4 $n=3.19$ $v=670$. Rb p_5-p_7 $n=5.87$ $v=1233$.

En p_9 son additionnel, dont le centre p_8-p_{10} $n=9.13$ donnerait pour Rp $n=3.26$, valeur trop élevée si p_{10} , obtenu par intégration partielle, est trop fort. En p_{12} on voit une autre résonance secondaire, qui serait alors l'octave de Rb. Le centre $p_{11}-p_{13}$ $n=11.9$ donnerait pour Rb $n=5.95$, d'où pour Rp une valeur inférieure à $n=3.26$, ce qui rentrerait mieux dans les résultats directement obtenus.

N° 9. — Vers p_8-p_9 il doit y avoir une résonance secondaire, d'ailleurs faiblement marquée.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=357$. Rp lim. inf. p_2-p_6 $v=595$; lim. sup. p_3-p_4 $v=673$. Rb p_5-p_7 $v=1226$.

N° 10. En p_9 une faible résonance secondaire. — Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=336$. Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=640$; lim. sup. p_3-p_4 $v=703$. Rb p_5-p_7 $v=1263$.

La considération des résonances secondaires aussi bien que l'examen direct de la distribution des amplitudes inférieures laissent encore reconnaître l'existence d'un centre inférieur à Rp, mais pour lequel on ne peut obtenir qu'une limite supérieure de valeur en somme douteuse. La résonance de l'arrière-bouche semble être partout au dessus de $n=3$. Celle de la bouche se déplace vers le bas quand monte le son fondamental, comme il y a lieu de s'y attendre.

On a en moyenne:

Premier centre lim. sup. $v=333$ mi $\sharp_3$ -eis'.

Rp lim. inf. $v=580$ ré $_4$ -d'' } interv. 1.119 (entre un ton mineur et un ton majeur)
 „ sep. $v=647$ > mi $_4$ -e'' }

moy. $v=614$ mi $\flat_4$ -es''; la considération du son additionnel ferait croire que la limite supérieure est plus approchée que l'autre, et la moyenne par suite un peu trop basse.

Rb $v=1241$ > mi $\flat_5$ -es'''.

Rapport Rb/Rp = 2.021. En tenant compte de l'incertitude des valeurs obtenues, surtout pour Rp, on peut dire que l'intervalle est d'environ une octave.

Le renforcement s'étend partout sans interruption jusqu'à p_7 . Le 3^e sp présente partout le maximum d'amplitude; le maximum d'intensité est cinq fois en I_3 , cinq fois en I_6 .

Voyelle œ.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	202	1.6	16.8	0	205	8.6	38.1	1	213	8.0	41.7	1
2	404	3.9	41.0	2	410	3.7	16.4	1	426	4.1	21.4	1
3	606	9.5	100.0	29	615	2.6	100.0	75	639	19.2	100.0	40
4	808	2.4	25.2	3	820	3.7	16.4	4	852	3.0	15.6	2
5	1010	2.8	29.4	7	1025	6.6	29.2	17	1065	3.9	20.3	5
6	1212	5.9	62.0	45	1230	13.1	58.0	100	1278	13.4	69.8	78
7	1414	7.5	78.8	100	1435	8.0	35.4	51	1491	13.0	67.7	100
8	1616	0.5	5.3	1	1640	1.2	5.3	2	1704	0.7	3.6	0
9	1818	0.9	9.5	2	1845	0.9	4.0	1	1917	0.6	3.1	0

Sp	N° 4				N° 5				N° 6			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	213	2.0	10.0	0	214	3.1	13.6	0	217	4.5	20.9	0
2	426	4.0	20.0	1	428	4.2	18.4	1	434	6.5	30.2	3
3	639	20.0	100.0	52	642	2.8	100.0	62	651	21.5	100.0	66
4	852	4.8	24.0	5	856	4.2	18.4	3	868	3.9	18.1	4
5	1065	5.4	27.0	11	1070	4.4	19.3	6	1085	5.0	23.1	10
6	1278	13.9	69.5	100	1284	14.5	63.6	100	1302	13.3	61.8	100
7	1491	0.6	3.0	0	1498	0.8	3.5	0	1519	0.9	4.2	1
8	1404	1.6	8.0	2	1912	1.5	6.6	2	1736	1.8	8.4	3
9	1917	0.5	2.5	0	1928	1.2	5.3	2	1953	1.0	4.7	1

m p₁₀-p₁₉ 0.4 (1.8 ‰)

Sp	N° 7				N° 8				N° 9			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	218	3.6	16.6	0	219	2.5	13.7	0	222	5.4	34.0	1
2	436	6.5	30.0	2	438	4.7	25.7	1	444	5.2	32.7	3
3	654	27.7	100.0	49	657	18.3	100.0	49	666	15.9	100.0	64
4	872	4.4	20.3	4	876	4.7	25.7	6	888	2.8	17.6	4
5	1090	4.8	22.1	7	1095	4.9	26.8	10	1110	2.7	17.0	5
6	1308	15.4	71.0	100	1314	13.1	71.6	100	1332	10.0	62.9	100
7	1526	2.1	9.7	2	1533	0.9	4.9	1	1554	1.2	7.5	2
8	1744	1.3	6.0	1	1752	0.5	2.7	0	1776	1.0	6.3	2
9	1962	1.6	7.4	2	1971	0.7	3.8	1	1998	1.7	10.7	7

Remarques. N° 1. — La distribution des amplitudes est assez semblable à celle qu'on constate pour ø . La décroissance inégale des amplitudes des deux côtés de p_3 montre qu'un centre inférieur doit agir au-dessous de p_2 . En p_9 son additionnel.

On a: premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=345$. Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=586$; lim. sup. p_3-p_4 $v=646$. Rb p_5-p_7 $v=1325$.

N° 2. — Pas de résonance secondaire bien marquée. Le premier centre très net.

Premier centre lim. sup. p_2-p_2 $v=266$. Rp lim. p_2-p_4 $v=615$; lim. sup. p_3-p_4 $v=644$. Rb p_5-p_7 $v=1240$.

N° 3. — Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=285$. Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=630$; lim. sup. p_3-p_4 $v=669$. Rb p_5-p_7 $v=1342$.

N° 4. — Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=356$. Rp. lim. inf. p_2-p_4 $v=645$; lim. sup. p_3-p_4 $v=679$. Rb p_5-p_6 $v=1218$. La résonance secondaire p_8 s'explique mal.

N° 5. — Résonance secondaire (son additionnel) en p_8-p_9 . Si elle agit encore sur p_7 , la valeur directement obtenue pour Rb est trop élevée.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=338$. Rp. lim. inf. p_2-p_4 $v=642$; lim. sup. p_3-p_4 $v=676$. Rb p_5-p_7 $v=1245$.

N° 6. — Son additionnel, dont le centre est situé entre p_8 et p_9 .

Premier centre p_1-p_2 $v=345$. Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=634$; lim. sup. p_3-p_4 $v=684$. Rp p_5-p_7 $v=1256$.

N° 7. — En p_8-p_9 , son additionnel. Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=358$. Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=641$; lim. sup. p_3-p_4 $v=691$. Rb p_5-p_7 $v=1282$.

N° 8. — Le son additionnel s'indique faiblement vers p_9 . — Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=318$. Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=657$; lim. sup. p_3-p_4 $v=701$. Rb p_5-p_7 $v=1268$.

N° 9. — En p_8-p_9 , son additionnel. — Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=331$. — Rp lim. inf. p_2-p_4 $v=644$; lim. sup. p_3-p_4 $v=699$. Rb p_5-p_7 $v=1323$.

En résumé, on distingue encore vers le bas l'action d'une résonance inférieure, pour laquelle on ne peut donner qu'une limite supérieure. La résonance Rp est située au voisinage du 3^e sp, plutôt un peu au-dessus; la résonance buccale se marque environ une octave plus haut. Il n'est pas impossible qu'elles s'influencent réciproquement en p₅ et p₄. Au-dessus de Rb, on remarque une résonance secondaire qui doit être le son additionnel.

On a en moyenne:

Premier centre lim. sup. p₁-p₂, v = 327, mi₃-mi₃[#], e'-eis'.

Rp lim. inf. v = 633 < mi₄-e'' } interv. 1,068 (½ ton majeur),
 „ sup. v = 676 < fa₄-f'' }

moyenne v = 655 fa₄^b-fes''.

Rb v = 1278 mi₅-e'''.

Rapport Rp/Rb = 1.951, septième augmentée.

Le renforcement s'étend sans interruption jusqu'à p₇, et même, avec les résonances secondaires, jusqu'à p₉. Le maximum d'amplitude est en p₃ (Rb), le maximum d'intensité à I₆ ou I₇ (Rb).

Quand on compare les résultats obtenus pour œ (accentué) et ɔ (atone), on constate, comme il fallait s'y attendre, une grande ressemblance dans le timbre. Les résonances pour ɔ sont plus basses que pour œ, surtout Rp où la différence atteint un demi-ton majeur. Mais les matériaux sont peu nombreux et peuvent laisser place au hasard; les valeurs de Rp sont affectées d'une assez grande incertitude. Pour se prononcer, il faudrait obtenir ces voyelles sur une note beaucoup plus basse, qui isolât la résonance de l'arrière-bouche.

Voyelle *œ*.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3 ¹⁾			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	180	6.9	35.2	1	190	5.2	19.5	1	192	8.0	27.5	1
2	360	19.6	100.0	19	380	26.7	100.0	57	384	29.1	100.0	59
3	540	0.5	2.6	0	570	2.0	7.5	1	576	3.8	13.1	2
4	720	3.7	18.9	3	760	1.2	4.5	0	768	3.7	12.7	4
5	900	0.6	3.1	0	950	4.0	15.0	8	960	4.9	16.8	10
6	1080	3.4	17.3	5	1140	0.8	3.0	0	1152	3.5	12.0	8
7	1260	5.7	29.1	19	1330	10.1	37.8	100	1344	10.8	37.1	100
8	1440	11.4	58.1	100	1520	0.8	3.0	1	1536	0.6	2.1	0
9	1620	1.8	9.2	3	1710	1.7	6.4	4	1728	1.8	6.2	5
10	1800	0.8	4.1	1	1900	2.2	8.2	10	1920	0.5	1.7	1
11	1980	0.3	1.5	0	2090	0.1	0.4	0	2112	0.4	1.4	1

$$m_{p_{12}-p_{19}} = 0.5 (1.7 \%)$$

Sp	N° 4				N° 5				N° 6			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	194	6.7	22.4	1	194	4.4	14.9	0	198	2.2	11.4	0
2	388	29.9	100.0	49	388	29.6	100.0	57	396	19.3	100.0	34
3	582	3.1	10.4	1	582	3.0	10.1	1	594	2.7	14.0	2
4	776	1.1	3.7	0	776	1.3	4.4	0	792	2.5	13.0	2
5	970	3.8	12.7	5	970	4.3	14.5	9	990	3.3	17.1	6
6	1164	3.9	13.0	7	1164	2.4	8.1	3	1188	0.6	3.1	0
7	1358	12.3	41.1	100	1358	11.2	37.8	100	1386	9.4	48.7	100
8	1552	1.8	6.0	3	1552	0.7	2.4	1	1584	1.3	6.7	2
9	1746	1.5	5.0	2	1746	1.5	5.1	3	1782	1.4	7.3	4
10	1940	0.4	1.3	0	1940	0.7	2.4	1	1980	0.4	2.1	0
11	2134	0.1	0.3	0	2134	0.2	0.7	0	2178	0.5	2.6	1

¹⁾ En p_{14} une forte amplitude (1.7, évidemment à l'octave de p_7); la moyenne des amplitudes $p_{12}-p_{13}$ et $p_{18}-p_{19}$ est de 0.3 (1.0 %).

Sp	N° 7				N° 8				N° 9 ¹⁾			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	199	8.3	27.8	1	201	6.3	24.1	1	172	5.3	23.8	0
2	398	29.9	100.0	47	402	26.1	100.0	62	344	22.3	100.0	10
3	597	3.8	12.7	2	604	0.9	3.4	0	516	2.4	10.8	0
4	796	3.1	10.4	2	804	3.4	13.0	4	688	2.5	11.2	1
5	995	4.1	13.7	6	1005	5.1	19.5	15	860	1.0	4.5	0
6	1194	2.8	9.4	4	1206	1.6	6.1	20	1032	1.9	8.5	1
7	1393	12.4	41.5	100	1407	9.5	36.4	100	1204	4.4	19.7	5
8	1592	1.4	4.7	2	1608	1.7	6.5	4	1376	17.2	77.1	100
9	1791	1.8	6.0	4	1809	3.4	13.0	21	1548	2.1	9.4	2
10	1990	0.2	0.7	0	2010	1.4	5.4	5	1720	2.4	6.3	1
11	2189	0.3	1.0	0	2211	0.5	1.9	1	1892	0.5	2.2	0

Remarques. N° 1. — Les deux résonances inférieures se montrent en p_1-p_2 . Elles sont par suite indéterminables, car le calcul fait sur p_2-p_3 ($n=2.02$ $v=364$) ne donnerait peut-être encore pour Rp qu'une limite inférieure (plus l'action du premier centre est forte sur p_2 , plus, dans le calcul barycentrique, l'influence du sp supérieur p_3 doit être grande, et le centre de la résonance se déplace en conséquence vers le haut). A proprement parler, on ne saurait même affirmer, par la seule considération des amplitudes inférieures, qu'il y ait plus d'un centre en cause.

Mais ici interviennent encore les résonances secondaires. La résonance buccale est évidemment en p_7-p_8 , et a pour centre p_7-p_9 $n=7.79$ $v=1402$. Dans l'intervalle deux résonances secondaires sont bien marquées, p_4 et p_6 . La première est visiblement l'octave d'une résonance placée vers $n=2$, la seconde un son différentiel entre Rb et une résonance placée aussi vers $n=2$, et qui ne peut être que Rp; malheureusement on ne peut isoler ces résonances avec une précision suffisante. On peut cependant affirmer, comme p_3 est sans doute influencé par Rp et p_5 par le son différentiel, que l'octave de Rp a son centre tout près de $n=4$, ce qui met Rp tout près de $n=2$. L'amplitude p_6 du son différentiel pourrait être influencée par Rb, et le centre de cette résonance ne peut donc être fixé. Il se pourrait d'ailleurs, inversement, que cette résonance agît encore sur p_7 , et la valeur de Rb $v=1402$ serait alors une limite inférieure. — Le premier centre reste absolument indéterminable.

N° 2. — Même raisonnement. Rp p_2-p_3 $n=2.12$ $v=403$ est peut-être une limite inférieure. Rb $n=7$ $v=1330$. En p_9-p_{10} , une résonance secondaire qui doit être un son additionnel, et dont le centre serait $n=9.57$. Cette valeur fournirait pour Rp $n=2.57$. En p_5 une autre résonance secondaire qui peut être le son différentiel ($7-2$) ou l'octave de Rp (supposée au-dessus de $n=2.12$), ou les deux ensemble, comme le rend probable la considération de la résonance supérieure p_9-p_{10} . Il est donc vraisemblable que Rp est plus haut que $n=2.12$, et que $v=403$ constitue une limite inférieure.

¹⁾ Par suite d'une erreur remarquée seulement au cours de l'impression, cette onde, qui devrait avoir le n° 1, s'est trouvée placée à la fin.

N° 3. — Mêmes remarques quant aux résonances inférieures. Rp (lim. inf.?) p_2-p_3 $n=2.12$ $v=407$. Rb p_5-p_8 $n=6.80$ $v=1306$. — Deux résonances secondaires se marquent en p_5 et p_9 . La seconde (son additionnel) a pour lim. inf. p_8-p_{10} $n=8.97$, d'où pour Rp $n=2.17$ (lim. inf.). En p_5 on peut avoir l'octave de Rp, le son différentiel ou les deux renforcements mêlés. — Si on admet une seule résonance, on a pour son centre p_4-p_5 $n=4.58$ (lim. inf. si elle agit encore sur p_6), d'où Rp $=2.22$ ou 2.29 selon qu'il s'agit d'un son différentiel ou d'une octave. Si les deux résonances sont mêlées, l'octave en dessous, le son différentiel en dessus, la valeur de Rp baisserait encore. Il semble donc qu'on puisse s'en tenir à la valeur Rp $v=407$ comme une lim. inf. qui ne saurait être éloignée.

N° 4. — Deux résonances secondaires en p_5 et p_9 , car on ne s'expliquerait pas sans cela la chute brusque des amplitudes à p_4 et p_{10} . Mais, comme elles sont en contact étroit avec Rb, on ne peut rien en tirer. Par analogie avec les ondes précédentes, on aurait Rp lim. inf. p_2-p_3 $v=407$. Rb p_6-p_8 $v=1414$ (avec deux erreurs en sens contraires si les résonances secondaires agissent en p_6-p_8).

N° 5. — Rb p_6-p_8 $n=6.88$ $v=1335$. Par analogie Rp lim. inf. p_2-p_3 $n=2.09$ $v=405$. — Deux résonances secondaires en p_5 et p_9-p_{10} . Pour le son additionnel on a comme lim. inf. (s'il agit encore sur p_8) $n=9.0$, d'où pour Rp lim. inf. $n=2.12$. Pour le son différentiel on aurait (lim. inf. s'il agit sur p_6) p_4-p_5 $n=4.77$, d'où Rp (lim. sup.?) $n=2.11$. On retombe ainsi de toute façon non loin de la valeur $v=405$, qu'on peut regarder comme une lim. inf. assez approchée.

N° 6. — Rp (lim. inf.?) p_2-p_3 $n=2.12$, $v=420$. Rb p_6-p_8 $n=7.06$ $v=1398$. — Le son additionnel marqué en p_9 peut avoir son centre un peu au-dessous de $n=9$; il fournit pour Rp une lim. inf. $n=1.94$. Si p_4-p_5 sont dus à une seule résonance secondaire, le centre serait à $n=457$, d'où pour Rp $n=2.49$ s'il s'agit d'un son différentiel, et $n=2.29$ s'il s'agit de l'octave. S'il faut voir en p_4-p_5 le mélange des deux renforcements secondaires, on arrive assez près de la lim. inf. $v=420$.

N° 7. — Même raisonnement que ci-dessus. Rb p_6-p_8 $n=6.92$ $v=1377$. Rp lim. inf. p_2-p_3 $n=2.05$ $v=408$. — Son additionnel près de $n=9$, d'où Rp lim. inf. $n=2.08$. La résonance secondaire p_4-p_5 , supposée unique, a pour centre $n=4.57$ (lim. inf. si elle agit sur p_6), d'où Rp (lim. sup.) $n=2.35$ ou 2.29 selon le cas; si elle forme une combinaison de deux renforcements, on revient pour Rp à une valeur sans doute voisine de la limite inf. $v=408$ trouvée directement.

N° 8. — Rb p_6-p_9 $n=7.06$ $v=1419$. Rp lim. inf. p_2-p_3 $n=2.03$ $v=408$. — Son additionnel lim. sup. p_9-p_{10} $n=9.30$, d'où Rp $n=2.24$ (lim. sup. si le son additionnel agit encore en p_8). La résonance secondaire p_4-p_5 supposée unique a pour lim. inf. $n=4.60$, d'où Rp $n=2.46$ ou 2.30 (lim. sup.); si elle est double, la valeur de Rp est moindre. On peut donc accepter la lim. inf. $v=408$.

N° 9. — Rb p_7-p_9 $n=7.90$ $v=1359$. — Rp. lim. inf. p_2-p_3 $n=2.10$ $v=361$. — Le son additionnel est indiqué vers p_{10} , et a son centre sans doute un peu au-dessus, d'où Rp $n=2.10$, lim. inf. — Entre p_4 et p_6 se mêlent probablement les deux renforcements secondaires (octave et son différentiel), l'un entre $n=4$ et $n=5$, l'autre au-dessus de $n=5$, ce

qui donne bien pour Rp des valeurs supérieures à $n=2$. On peut adopter la lim. inf. obtenue directement.

En résumé, bien que les résonances inférieures soient mêlées en p_1-p_3 , les résonances secondaires, combinées avec la valeur de Rb qu'on peut obtenir avec quelque précision, montrent que Rp est située au-dessus du 2^e sp, et montrent que la limite inférieure directement obtenue doit être effectivement une limite inférieure, mais assez approchée. Sur la position du premier centre, on ne peut rien dire, sauf qu'elle est au-dessous du 2^e sp. On aurait alors: Rp lim. inf. 398 sol $\sharp_4$ -gis''; on peut donc admettre, sans commettre de grande erreur, que Rp est située entre sol $\sharp_4$ et la $_4$ (gis''-a''). Rb $v=1371$ fa $_5$ -f'''. L'intervalle Rb/Rp serait approximativement entre 3.2 et 3.4, soit plus d'une douzième.

Les renforcements s'étendent sur p_1-p_3 et la région p_6-p_9 , les résonances secondaires étant plus faibles, quoiqu'encore notables. Le maximum d'amplitude est en p_2 , le maximum d'intensité en I_7 .

Voyelle a.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	177	1.8	19.6	0	178	4.2	64.7	1	185	3.4	43.0	0	195	2.2	26.8	0
2	354	2.4	26.1	1	356	2.6	40.0	1	370	1.9	24.0	0	390	2.5	30.5	1
3	531	0.9	9.8	0	534	1.6	25.0	1	555	5.5	69.6	12	585	3.9	47.6	7
4	708	8.0	87.1	24	712	6.5	100.0	33	740	4.6	58.2	11	780	8.2	100.0	53
5	885	7.4	80.6	33	890	5.9	90.9	42	925	5.6	70.9	25	975	4.4	53.7	23
6	1062	4.6	50.1	18	1068	1.5	23.1	4	1110	7.1	89.9	60	1170	7.5	91.5	100
7	1239	9.2	100.0	100	1246	5.5	84.7	73	1295	7.9	100.0	100	1365	3.2	39.0	25
8	1416	2.8	30.4	15	1424	5.6	86.2	100	1480	1.7	21.5	6	1560	0.6	7.3	1
9	1593	0.3	3.2	0	1602	1.1	16.9	5	1665	1.2	15.1	4	1755	0.2	2.4	0

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	195	3.5	33.3	1	197	1.9	26.4	0	199	0.2	2.6	0	201	1.5	14.3	0
2	390	2.3	21.9	1	394	2.4	33.3	1	398	1.6	20.8	0	402	1.5	14.3	0
3	585	3.9	37.1	6	591	2.9	40.3	4	597	5.4	70.2	12	603	4.5	42.8	8
4	780	10.5	100.0	79	788	6.5	90.3	36	796	7.1	92.2	38	804	10.5	100.0	81
5	975	1.7	16.2	3	985	5.1	70.8	35	995	4.9	63.7	28	1005	2.2	21.0	5
6	1170	7.9	75.2	100	1182	7.2	100.0	100	1194	7.7	100.0	100	1206	7.8	74.3	100
7	1365	4.2	40.0	38	1379	2.8	38.9	20	1393	2.2	28.6	11	1407	2.8	26.7	17
8	1560	0.3	2.9	0	1576	0.6	8.3	1	1592	0.2	2.6	0	1608	0.4	3.8	0
9	1755	0.2	1.9	0	1773	0.1	1.4	0	1791	0.3	3.9	0	1809	0.5	4.8	1

$$m p_{10} - p_{19} = 0.2 (2.8 \%)$$

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	201	3.4	32.1	1	210	3.4	27.0	0
2	402	0.4	3.8	0	420	4.6	36.5	3
3	603	5.0	47.2	10	630	4.3	34.1	5
4	804	10.6	100.0	78	840	12.6	100.0	78
5	1005	2.1	19.8	5	1050	1.9	15.1	3
6	1206	8.0	75.5	100	1260	9.5	75.4	100
7	1407	1.1	10.4	3	1470	3.0	23.8	13
8	1608	0.9	8.5	2	1680	0.3	2.4	0
9	1809	0.8	7.5	2	1890	0.4	3.2	0

Remarques. — N° 1. — L'existence de trois centres de renforcement est encore très nette, puisque p_2 et p_4 sont séparés par une très faible amplitude. Les trois centres se touchent, car il est probable que p_3 est influencé par les deux plus bas, et p_6 , à la limite de Rp et Rb, pourrait subir l'influence de toutes les deux. On a donc:

Premier centre p_1-p_2 $v=278$.

Rp lim. inf. p_3-p_5 $v=865$; lim. sup. p_4-p_5 $v=885$.

Rb p_6-p_8 $v=1220$ (limite inférieure?).

N° 2. — L'écart entre Rp et Rb est plus grand.

Premier centre p_1-p_2 $v=246$. Rp p_4-p_5 $v=797$. Rb p_7-p_8 $v=1337$.

N° 3. — La distribution des amplitudes p_3-p_7 rend assez difficile la détermination de Rp et Rb. Il semble que les deux résonances agissent ensemble sur p_5 , et que les valeurs les plus plausibles soient obtenues en ne tenant compte que de p_3-p_4 et p_6-p_7 . Rp doit agir encore sur p_2 .

Premier centre (lim. sup.) p_1-p_2 $v=252$.

Rp p_3-p_4 $v=640$.¹⁾

Rb p_6-p_7 $v=1208$.

N° 4. — Les deux résonances supérieures sont en contact en p_5 .

Premier centre p_1-p_2 $v=298$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=718$; lim. sup. p_3-p_5 $v=786$.

Rb " " p_5-p_7 $v=1154$; " " p_6-p_7 $v=1228$.

N° 5. — Premier centre p_1-p_2 $v=273$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=727$; lim. sup. p_3-p_5 $v=803$.

Rb " " p_5-p_7 $v=1205$; " " p_6-p_7 $v=1238$.

N° 6. — Premier centre p_1-p_2 $v=307$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=727$; lim. sup. p_3-p_5 $v=817$.

Rb " " p_5-p_7 $v=1152$; " " p_6-p_7 $v=1237$.

¹⁾ Les valeurs de Rp obtenues des ondes n° 1 et 3 se compensent.

N° 7. — Vu la faiblesse du son fondamental, la détermination du premier centre a peu de valeur. Rp et Rb sont en contact.

Premier centre p_1-p_2 $v = 376$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v = 710$; lim. sup. p_3-p_5 $v = 790$.

Rb „ „ p_5-p_7 $v = 1174$; „ „ p_6-p_7 $v = 1238$.

N° 8. — Premier centre p_1-p_2 $v = 301$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v = 744$; lim. sup. p_3-p_5 $v = 778$.

Rb „ „ p_5-p_7 $v = 1216$; „ „ p_6-p_7 $v = 1258$.

N° 9. — Premier centre p_1-p_2 $v = 223$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v = 742$; lim. sup. p_3-p_5 $v = 772$.

Rb „ „ p_5-p_7 $v = 1188$; „ „ p_6-p_7 $v = 1230$.

N° 10. — Premier centre p_1-p_2 $v = 317$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v = 788$; lim. sup. p_3-p_5 $v = 813$.

Rb „ „ p_5-p_7 $v = 1277$; „ „ p_6-p_7 $v = 1310$.

En résumé l'existence du centre de résonance le plus grave est encore confirmée par cette voyelle. Les résonances de l'arrière-bouche et de la bouche se touchent, et leurs limites de renforcement se recouvrent en partie; mais il est possible cependant d'obtenir avec une précision suffisante des valeurs limites, et par suite des moyennes approximatives. On a:

Premier centre (en négligeant le n° 7) $v = 277$ ré $\flat_3$ -des'.

Rp lim. inf. (sur 8 ex.) $v = 753 < \text{sol}_4\text{-g}''$.
 „ sup. „ „ „ $v = 806 > \text{sol } \sharp_4\text{-gis}''$ } interv. 1.070 ($\frac{1}{2}$ ton majeur),
 moyenne 768 $\text{sol}_4\text{-g}''$.

Rb lim. inf. (sur 7 ex.) 1195 ré $\sharp_5\text{-dis}'''$
 „ sup. „ „ „ 1248 mi $\flat_5\text{-mi}_5$, es'''-e''' } interv. 1.044 ($\frac{1}{2}$ ton mineur),
 moyenne 1232 mi $\flat_5\text{-es}'''$.

Rapport Rp/Rb 1.603 ou sixte mineure.

Le renforcement forme une région ininterrompue s'étendant jusqu'au 7^e, parfois au 9^e sp. L'amplitude maxima est à peu près aussi souvent dans la résonance de l'arrière-bouche (p_4) que dans la résonance buccale (p_6 ou p_7); le maximum d'intensité est toujours dans cette dernière (généralement I_6).

Voyelle á.

Sp	N° 1				N° 1				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	179	2.8	15.2	0	180	2.6	15.2	0	183	1.1	10.1	0	183	3.4	34.7	0
2	358	3.7	20.1	1	360	4.4	25.7	1	366	2.1	19.3	1	366	4.1	41.8	2
3	537	8.5	46.2	12	540	6.7	39.2	6	549	3.7	33.9	4	549	2.9	29.6	2
4	716	18.4	100.0	100	720	15.7	91.8	54	732	10.9	100.0	68	732	9.8	100.0	46
5	895	14.2	77.1	93	900	17.1	100.0	100	915	7.3	66.9	48	915	7.5	76.5	42
6	1074	11.2	60.3	83	1080	9.5	55.6	45	1098	8.8	80.7	100	1098	9.6	97.9	100
7	1253	2.8	15.2	7	1260	3.7	21.6	9	1281	3.1	28.4	17	1281	3.8	38.8	21
8	1432	1.4	7.6	2	1440	2.1	12.3	4	1464	1.0	9.2	2	1464	1.6	16.3	5
9	1611	1.5	8.1	3	1620	1.4	8.2	2	1647	0.6	5.5	1	1647	0.9	9.2	2
10	1790	1.6	8.7	5												

$$m p_{11} - p_{19} = 0.4 (2.2 \%)$$

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	189	1.8	14.4	0	195	2.1	16.3	0	197	1.9	16.2	0	198	1.8	16.4	0
2	378	2.8	22.4	1	390	2.3	17.8	0	394	2.9	24.8	1	396	2.9	26.4	1
3	567	3.5	28.0	2	585	3.4	26.4	2	591	3.0	25.7	2	594	4.6	41.8	7
4	756	12.5	100.0	55	780	12.9	100.0	55	788	11.7	100.0	66	792	11.1	100.0	75
5	945	9.5	76.0	50	975	9.9	76.7	50	985	9.3	79.5	65	990	9.1	82.7	79
6	1134	11.2	89.6	100	1170	11.7	90.7	100	1182	9.7	82.9	100	1188	8.5	77.3	100
7	1323	2.8	22.4	9	1365	4.1	31.8	17	1379	2.2	18.8	8	1386	2.6	23.6	12
8	1512	0.8	6.4	1	1560	1.4	10.9	3	1576	0.5	4.3	0	1584	1.0	9.0	2
9	1701	0.7	5.6	1	1755	1.1	8.5	2	1773	0.3	2.6	0	1782	1.3	11.8	5
10	1890	1.6	12.8	5												

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	200	1.1	7.4	0	202	1.5	10.7	0
2	400	2.4	16.1	1	404	2.6	18.6	1
3	600	5.2	36.2	6	606	4.4	31.4	4
4	800	14.9	100.0	84	808	14.0	100.0	74
5	1000	10.8	72.5	70	1010	10.7	76.4	68
6	1200	10.8	72.5	100	1212	10.8	77.1	100
7	1400	1.8	12.1	4	1414	2.7	19.3	9
8	1600	1.2	8.1	2	1616	0.5	3.6	0
9	1800	1.6	10.7	5	1818	0.9	6.4	2

Remarques. — N° 1. — On observe un domaine de fortes amplitudes embrassant une octave (p_3 — p_6). Mais, bien que les amplitudes aillent en décroissant des deux côtés de p_4 , il est évident que ce groupe de renforcement est produit par plus d'un centre de résonance; car on ne s'expliquerait pas pourquoi l'amplitude, qui à intervalle de quinte (p_4 — p_6) est encore des deux tiers de sa valeur maxima, tombe subitement à une faible valeur sur l'intervalle d'un ton majeur (p_6 — p_7), ni pourquoi elle diminue beaucoup moins sur l'intervalle de quinte p_4 — p_6 que sur l'intervalle de quarte p_4 — p_3 . Les résonances de l'arrière-bouche et de la bouche sont donc encore reconnaissables, quoique très rapprochées.

Il y a lieu d'attribuer à Rp l'amplitude p_4 , et à Rb l'amplitude p_6 ; le son partiel p_5 , influencé par les deux résonances voisines, domine l'amplitude p_6 .

Au-dessous de p_3 les amplitudes, malgré les intervalles croissants, ne diminuent que très lentement, et le son fondamental a une amplitude à peine plus faible que son octave. Il faut y voir l'effet du premier centre. La position de ce premier centre, d'après la construction barycentrique p_1 — p_2 , serait $v=281$, tout en observant que ce chiffre constitue une limite supérieure si, comme il est possible, la résonance Rp agit sur p_2 .

Pour Rp on a comme lim. sup. p_3 — p_5 $v=741$, évidemment éloignée de la position réelle; la limite inférieure p_3 — p_4 n'aurait aucune valeur pratique. Il semble probable que le centre doit être voisin de $n=4$, mais plutôt un peu au-dessus.

Pour Rb on obtient une lim. inf. p_5 — p_7 $v=1001$, elle aussi très éloignée; la lim sup. p_6 — p_7 n'a aucun intérêt. La position réelle doit être un peu au-dessous de $n=6$.

Il est naturel, puisque les domaines de renforcement se recouvrent en partie, qu'on ne puisse obtenir de localisation précise. La considération du son additionnel éventuel (p_{10}) n'apporterait non plus aucune précision, puisqu'il est impossible d'obtenir isolément un des sons élémentaires. C'est pourquoi on n'a pas étendu les mesures au delà de p_9 .

N° 2. — Même raisonnement. Il semble seulement, puisque l'amplitude maxima (p_5) est située entre les deux résonances, que celles-ci se soient rapprochées; mais il est impossible de dire laquelle s'est déplacée. On a donc:

Premier centre p_1-p_2 $v=293$ (lim. sup.?).

Rp lim. inf. $n=4$, lim. sup. p_3-p_5 $v=767$.

Rb lim. inf. p_5-p_7 $v=1004$, lim. sup. $n=6$.

N° 3. — Premier centre p_1-p_2 $v=304$.

Rp lim. inf. $n=4$, lim. sup. p_3-p_5 $v=761$.

Rb lim. inf. p_5-p_7 , $v=1058$, lim. sup. $n=6$.

N° 4. — Le fait que p_2 est plus fort que p_3 témoigne de l'action du premier centre, à moins qu'il ne faille y voir celle d'un son différentiel p_6-p_4 .

Premier centre p_1-p_2 $v=284$.

Rp lim. inf. $n=4$, lim. sup. p_3-p_5 $v=814$.

Rb lim. inf. p_5-p_7 $v=1059$, lim. sup. $n=6$.

N° 5. — La faiblesse relative des amplitudes p_3 et p_7 tendrait à faire croire que les deux résonances sont placées, Rp un peu au-dessus de $n=4$, Rb un peu au-dessous de $n=6$.

Premier centre p_1-p_2 $v=304$.

Rp lim. inf. $n=4$, lim. sup. p_3-p_5 $v=801$.

Rb lim. inf. p_5-p_7 $v=1079$, lim. sup. $n=6$.

N° 6. — Le premier centre est ici bien marqué. La résonance buccale, vu l'amplitude de p_7 , semble être très voisine de $n=6$.

Premier centre p_1-p_2 $v=296$.

Rp lim. inf. $n=4$, lim. sup. p_3-p_5 $v=862$.

Rb lim. inf. p_5-p_7 $v=1125$, lim. sup. $n=6$.

N° 7. — Il semble que Rb soit plus loin au-dessous de $n=6$ (faible amplitude de p_7 , faible différence entre p_5 et p_6) que dans les ondes précédentes. Le son fondamental est d'ailleurs plus élevé. Cette remarque s'applique à toutes les ondes suivantes.

Premier centre p_1-p_2 $v=321$.

Rp lim. inf. $n=4$, lim. sup. p_3-p_5 $v=828$.

Rb lim. inf. p_5-p_7 $v=1125$, lim. sup. $n=6$.

N° 8. — Premier centre p_1-p_2 $v=338$.

Rp lim. inf. $n=4$, lim. sup. p_3-p_5 $v=834$.

Rb lim. inf. p_5-p_7 $v=1124$, lim. sup. $n=6$.

N° 9. — Premier centre p_1-p_2 $v=338$.

Rp lim. inf. $n=4$, lim. sup. p_3-p_5 $v=834$.

Rb lim. inf. p_5-p_7 $v=1124$, lim. sup. $n=6$.

N° 10. — Premier centre p_1-p_2 $v=263$.

Rp lim. inf. $n=4$, lim. sup. p_3-p_5 $v=852$.

Rb lim. inf. p_5-p_7 $v=1131$, lim. sup. $n=6$.

En prenant la moyenne des dix ondes, on obtient les résultats suivants. Le premier centre serait placé à $v = 299$, soit ré $\sharp_3$ (dis'). La moyenne du son fondamental est $v = 191$. On a pour Rp: lim. inf. $n = 4$ $v = 764$ (sol₄, g'')

lim. sup. $v = 810$ (sol $\sharp_4$ —et la $\flat_4$, gis''—as''),

avec un intervalle de 1.06 ou un demi-ton majeur. La moyenne de ces valeurs est $v = 787$ (entre sol et sol $\sharp_4$, g''—gis''). Mais il faut remarquer que la limite inférieure est sans doute plus approchée que la limite supérieure; on a donc en définitive vraisemblablement

$$Rp < 787.$$

Pour Rb, on a lim. inf. $v = 1085$ (ut $\sharp_5$, cis''')

lim. sup. $n = 6$ $v = 1146$ ($<$ ré₅, d'''),

avec un intervalle de 1.056 (un demi-ton mineur). La moyenne, $v = 1115$ ($>$ ré $\flat_5$, des''') est vraisemblablement un peu trop basse; donc

$$Rb > 1115.$$

L'intervalle entre Rp et Rb serait de 1.417, compris entre la quarte augmentée et la quinte diminuée. Mais si, comme il semble, les deux moyennes sont affectées d'erreurs en sens contraires, l'intervalle est plus grand. On ne se trompe sans doute guère en admettant que c'est une quinte diminuée.

Voyelle ã

Sp.	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	135	2.5	34.3	0	135	1.6	32.6	0	135	0.7	11.1	0	137	1.4	21.3	0
2	270	1.8	24.7	0	270	1.6	32.6	1	270	1.3	20.7	0	274	0.5	7.6	0
3	405	0.2	2.7	0	405	0.7	14.3	0	405	0.7	11.1	0	411	0.5	7.6	0
4	540	1.7	23.3	2	540	0.9	18.4	1	540	0.4	6.4	0	548	1.0	15.2	1
5	675	6.0	82.2	34	675	4.2	85.7	37	675	4.1	65.2	22	685	3.9	59.3	18
6	810	6.1	83.6	51	810	4.5	91.8	64	810	4.6	73.1	39	822	4.9	74.5	40
7	945	7.3	100.0	100	945	4.9	100.0	100	945	6.3	100.0	100	959	6.6	100.0	100
8	1080	2.0	27.4	9	1080	2.0	40.8	22	1080	1.8	28.6	11	1096	2.2	33.4	14
9	1215	1.0	13.7	3	1215	0.5	10.2	1	1215	0.3	4.8	0	1233	0.8	12.2	3

Sp.	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	140	0.7	10.6	0	140	0.2	3.2	0	143	2.8	29.1	0	143	2.8	31.4	0
2	280	0.3	4.6	0	280	0.6	9.5	0	286	2.7	28.1	1	286	2.3	25.8	1
3	420	0.4	6.1	0	420	0.3	4.8	0	429	0.6	6.2	0	429	0.6	6.7	0
4	560	0.8	12.2	0	560	1.5	23.9	2	572	2.6	27.0	3	572	1.8	20.2	2
5	700	4.3	65.4	22	700	4.7	74.7	34	715	8.2	85.3	44	715	7.5	84.0	49
6	840	5.7	86.6	51	840	6.3	100.0	84	858	9.6	100.0	90	858	8.9	100.0	100
7	980	6.6	100.0	100	980	5.8	92.2	100	1001	8.7	90.5	100	1001	6.7	75.0	77
8	1120	1.3	19.8	5	1120	2.1	33.4	16	1144	3.3	34.3	19	1144	1.1	12.3	3
9	1260	0.9	13.7	3	1260	0.5	8.0	1	1287	1.4	14.6	4	1287	0.8	9.0	2

$$m \text{ p}_{10} - \text{p}_{19} = 0.2 \text{ (2.1 \%)} \quad .$$

Sp.	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	145	2.0	23.8	0	147	1.6	22.2	0
2	290	1.3	15.5	0	294	1.6	22.2	0
3	435	0.4	4.8	0	441	1.0	13.9	0
4	580	1.8	21.4	2	588	1.0	13.9	1
5	725	8.1	96.4	63	735	4.3	59.8	18
6	870	8.4	100.0	100	882	6.2	86.2	54
7	1015	5.3	63.1	52	1029	7.2	100.0	100
8	1160	0.7	8.3	1	1176	2.2	30.6	12
9	1305	0.8	9.5	2	1323	0.5	7.0	1

Remarques. — N° 1. — L'existence du premier centre de résonance (p_1-p_2) se manifeste nettement, puisqu'il est isolé des résonances supérieures par une amplitude presque nulle. La construction barycentrique sur p_1-p_2 donnerait pour le centre $v=192$.

Les deux autres résonances sont en contact, bien que le son fondamental soit déjà assez bas; mais on voit immédiatement que c'est l'une qui donne à p_5 sa forte amplitude, l'autre à p_7 , tandis que p_6 doit subir l'influence de toutes les deux. On peut donc établir en première approximation:

Rp lim. inf. sp_5 $v=675$; lim. sup. sp_6 $v=810$.

Rb „ „ sp_6 $v=810$; „ „ sp_7 $v=945$.

Mais il est possible de resserrer encore ces limites. Supposons en effet que l'amplitude de p_5-p_6 tienne par parties égales à chacune de ces résonances. La construction barycentrique, en attribuant à p_6 la moitié de son amplitude, donne

2° centre p_4-p_6 $n=5.12$.

3° „ p_6-p_8 $n=6.92$.

Ce raisonnement n'a bien entendu aucun caractère de rigueur. Mais il permet d'admettre comme très vraisemblable que la résonance de l'arrière-bouche est plus près du 5° que du 6° harmonique, et la résonance buccale plus près du 7° que de 6°, donc au-dessous de $n=5.5$, et au-dessus de $n=6.5$. On a en seconde approximation:

Rp lim. inf. $v=675$; lim. sup. $v=742$.

Rb „ „ $v=878$; „ „ $v=945$.

N° 2. — Le premier centre serait à $n=1.5$, soit $v=202$.

Pour les deux résonances supérieures, le même raisonnement que ci-dessus donne en seconde approximation les mêmes limites. Il est possible même que la résonance buccale soit plus près de $n=7$ que de $n=6.5$.

N° 3. — On serait tenté de placer le premier centre à $n=2$, soit $v=270$.

Les deux résonances Rp et Rb ont les mêmes limites; peut-être Rp est-elle plus près de $n=5.5$ que de $n=5$.

N° 4. — Premier centre p_1-p_2 $v=173$.

Le même raisonnement que pour les ondes précédentes donne

Rp lim. inf. 685; lim. sup. 754.

Rb „ „ 890; „ „ 959.

N° 5. — Premier centre p_1-p_2 $v=182$.

Rp lim. inf. 700; lim. sup. 770.

Rb „ „ 910; „ „ 980.

N° 6. — Premier centre p_1-p_2 $v=245$.

En ce qui concerne les résonances supérieures, cette onde diffère des précédentes: p_6 , sous l'influence des deux résonances, est devenu l'harmonique d'amplitude maxima. Ceci indique que l'une au moins des résonances, et peut-être toutes deux se sont rapprochées de cet harmonique. En tenant compte de la forte amplitude de p_8 , on pourrait supposer que la résonance buccale n'a pas dû se déplacer beaucoup, et que par suite c'est surtout le deuxième centre qui a monté. Mais on ne peut construire sur cette hypothèse rien de solide. Il faut donc se contenter de la première approximation:

Rp lim. inf. 700; lim. sup. 840.

Rb „ „ 840; „ „ 980.

N° 7. — Premier centre p_1-p_2 $v=213$.

Pour les résonances Rp et Rb, on peut appliquer le même raisonnement que pour l'onde n° 6; donc

Rp lim. inf. 715; lim. sup. 858.

Rb „ „ 858; „ „ 1001.

Cependant les fortes amplitudes que conservent les deux résonances en p_4 et p_8 pourraient autoriser à admettre en deuxième approximation que Rp est située un peu au-dessous de 786 (plus près de $n=5.5$ que de $n=5$) et Rb un peu au-dessus de $n=6.5$, soit de $v=930$.

N° 8. — Premier centre p_1-p_2 $v=207$.

Les deux résonances supérieures ont les mêmes limites qu'au n° 7. En les plaçant à la moyenne (786 et 930), on ne doit pas commettre de grande erreur.

N° 9. — Premier centre p_1-p_2 $v=202$.

Pour Rp et Rb on obtient en première approximation:

Rp lim. inf. 725; lim. sup. 870.

Rb „ „ 870; „ „ 1015.

Mais la considération de la décroissance des amplitudes vers p_4 et p_8 montre que vraisemblablement la résonance de l'arrière-bouche s'est rapprochée du 5° harmonique et celle de la bouche du 6°. On peut donc admettre en seconde approximation que Rp est au-dessous de $n=5.5$ et Rb au-dessous de $n=6.5$; donc:

Rp lim. inf. 725; lim. sup. 798.

Rb „ „ 870; „ „ 942.

Ce résultat n'a rien d'étonnant, puisque le son fondamental a monté.

N° 10. — Premier centre p_1-p_3 $v=273$.

Pour les deux autres résonances, on est obligé de s'en tenir à la première approximation:

Rp lim. inf. 735; lim. sup. 882.

Rb „ „ 882; „ „ 1029.

La forte amplitude de p_8 et le fait que p_7 a l'amplitude maxima porteraient à croire que la résonance buccale est plus élevée que dans le n° 9; mais on ne peut rien affirmer de précis.

En résumé la gravité de la note fondamentale (135—147 ut $\sharp_2$ —ré $\sharp_2$) a éloigné suffisamment la résonance de l'arrière-bouche pour que le premier centre de résonance apparaisse clairement. Mais les valeurs fournies par le calcul sont trop variables pour qu'on puisse en tirer de conclusions solides sur sa position réelle; de légères variations d'amplitude causent de grandes variations dans le calcul de n .

Quant aux résonances des cavités supralaryngiennes, il est encore possible de les distinguer, sinon de les isoler complètement. On en obtient l'emplacement avec un écart variant, pour Rp, entre la tierce mineure et un ton mineur, et pour Rb, entre la seconde augmentée et la seconde diminuée.

En prenant la moyenne générale des résultats, on obtient:

1^{er} centre $v = 216 (> la_2 - a)$.

Rp lim. inf. 700 $< fa \sharp_4$ —fis''; lim. sup. 799 sol $\sharp_4$ —gis'', interv. 1.14 (plus d'un ton majeur).
soit moy. Rp. 750 (entre sol $\flat_4$ et sol $_4$, ges''—g'').

Rb lim. inf. 874 la_4 —la $\sharp_4$, a''—ais''; lim. sup. 973 $> si_4$ —h'', interv. 1.113 (un ton mineur).
soit moy. Rb $v = 924$ (si $\flat_4$, b'')

L'intervalle entre Rp et Rb est de 1.23, compris entre la tierce mineure et la tierce majeure.

La distribution des amplitudes montre une large région de renforcement qui s'étend du 4^e au 8^e, parfois au 9^e harmonique; une autre région comprend les deux premiers sons partiels. Le maximum d'amplitude se trouve soit au 6^e, soit au 7^e sp; le maximum d'intensité est presque partout au septième.

Voyelle ô.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	183	4.1	21.4	0	193	5.0	22.1	0	194	3.8	16.8	0	194	4.8	20.2	0
2	366	8.0	41.7	3	386	7.8	34.4	2	388	7.3	32.2	2	388	5.6	23.5	1
3	549	10.4	54.2	10	579	13.9	61.3	14	582	13.9	61.3	13	582	14.0	58.8	12
4	732	3.9	20.3	3	772	3.8	16.8	2	776	4.9	21.6	3	776	1.2	5.0	0
5	915	19.2	100.0	100	965	22.7	100.0	100	970	22.7	100.0	100	970	23.8	100.0	100
6	1098	1.1	5.7	1	1158	1.7	7.5	1	1164	1.6	7.1	1	1164	1.6	6.7	1
7	1281	2.2	11.5	3	1351	2.9	12.8	3	1358	2.7	12.0	3	1358	2.9	12.2	3
8	1464	1.0	5.2	1	1544	1.4	6.2	1	1552	1.5	6.6	1	1552	0.9	3.8	0
9	1647	0.4	2.1	0	1737	0.9	4.0	1	1746	0.6	2.0	0	1746	0.5	2.1	0

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	194	1.7	5.6	0	199	2.0	6.2	0	203	4.2	13.5	0	203	3.5	11.6	0
2	388	6.9	22.8	1	398	5.7	17.8	0	406	6.0	19.2	1	406	5.4	17.9	1
3	582	13.7	45.2	7	597	16.3	50.8	9	609	15.8	50.6	9	609	14.1	46.8	8
4	776	5.2	17.2	2	796	3.6	11.2	1	812	5.2	16.7	2	812	3.8	12.6	1
5	970	30.3	100.0	100	995	32.1	100.0	100	1015	31.2	100.0	100	1015	30.1	100.0	100
6	1164	2.2	7.3	1	1194	2.8	8.7	1	1218	0.8	2.6	0	1218	4.3	14.3	3
7	1358	3.2	10.6	2	1393	2.5	7.8	1	1421	0.7	2.2	0	1421	3.3	11.0	2
8	1552	0.8	2.6	0	1592	1.2	3.7	0	1624	0.5	1.6	0	1624	1.6	5.3	1
9	1746	1.0	3.3	0	1791	1.0	3.1	0	1827	0.9	2.9	0	1827	0.9	3.0	0

$$mp_{10}-p_{19}=0.6(2.0\%)$$

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	p	I	v	p	P	I
1	205	3.8	15.4	0	216	5.3	20.9	0
2	410	5.5	22.4	1	432	3.1	12.2	0
3	615	11.6	47.2	8	648	10.3	40.6	6
4	820	5.9	24.0	4	864	5.8	22.8	3
5	1025	24.6	100.0	100	1080	25.4	100.0	100
6	1230	2.0	8.1	1	1296	1.8	7.1	1
7	1435	1.6	6.5	1	1512	1.6	6.3	1
8	1640	0.4	1.6	0	1728	0.8	3.1	0
9	1845	0.9	3.7	0	1944	1.0	3.9	0

Remarques. — N° 1. — On voit une région de renforcement s'étendant de p_1 à p_5 , et un renforcement secondaire en p_7 . Ce dernier est visiblement le son additionnel des deux résonances dont les centres se marquent en p_3 et p_5 , et ce fait montre déjà que la position réelle du centre de ces résonances doit différer de $n=3$ et $n=5$. Il est vrai que le centre du renforcement secondaire est plus haut que $n=7$, car l'amplitude de p_6 doit être due surtout à l'action de p_5 (Rb), et le renforcement secondaire s'étend encore sur p_8 . La limite supérieure serait donc donnée par p_7-p_8 $n=7.34$. Il se peut, il est vrai, que p_6 soit influencé par cette résonance; mais d'autre part Rb pourrait encore agir sur p_7 , et la valeur ci-dessus serait encore trop basse.

On peut conclure à l'existence d'un centre de résonance compris entre p_1 et p_2 en remarquant que les amplitudes décroissent beaucoup moins vite au-dessous de p_3 qu'au-dessus (p_4 est influencé par p_5). La forte amplitude de p_2 pourrait être attribuée, il est vrai, à un son différentiel (p_5-p_3); mais cette explication ne vaut pas pour p_1 . On a pour le premier centre une lim. sup. p_1-p_2 $v=304$; mais cette limite doit être assez éloignée, puisque p_2 est évidemment influencé par p_3 .

Les résonances supérieures sont en contact. Le raisonnement présenté pour a peut s'appliquer encore ici, *mutatis mutandis*. Le calcul barycentrique effectué sur p_2-p_4 donne pour Rp une valeur $n=2.82$ $v=516$ affectée de deux erreurs en sens contraire dont il est difficile de dire laquelle est la plus forte. Pour Rb le calcul donne: p_4-p_6 $n=6.88$ $v=893$, valeur elle aussi affectée sans doute d'une double erreur. La somme $4.88+2.82$ donne $n=7.70$, chiffre beaucoup plus élevé que la limite supérieure directement calculée pour le son additionnel; il en résulterait que l'une au moins des deux résonances est placée trop haut. Si on admet que l'influence de p_3 sur p_4 est relativement plus forte que celle de p_7 sur p_6 (hypothèse en somme vraisemblable), il en résulterait que la valeur donnée pour Rb est plutôt une limite inférieure. En tout cas la distribution des amplitudes p_4-p_6 montre que Rb ne saurait être sensiblement au-dessous de la valeur $n=4.88$; la lim. la plus basse qu'on puisse obtenir, p_4-p_5 , donne $n=4.83$ $v=884$, sûrement trop bas. — L'erreur porterait donc

surtout sur Rp. Le calcul barycentrique effectué sur p_2-p_3 seulement donne une valeur (trop basse) $n=2.57$ $v=471$. La somme $2.57 + 4.83$ donne $n=7.40$, chiffre encore trop élevé; mais il n'est pas possible de serrer de plus près les termes du problème. On a vu d'ailleurs que la valeur $n=7.34$ pourrait être trop faible. On admettra donc, tout en reconnaissant que ces valeurs ne peuvent prétendre à une notable précision:

Rp lim. inf. $v=471$, lim. sup. (?) $v=516$.

Rb „ „ $v=884$, „ „ (?) $v=893$.

Le même raisonnement s'applique aux ondes suivantes; on se contentera par suite de donner les résultats numériques.

N° 2. — Son additionnel lim. sup. (?) p_7-p_8 $n=7.33$.

Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=311$.

Rp lim. inf. p_2-p_3 $n=2.64$ $v=510$; lim. sup. (?) p_2-p_4 $n=2.84$ $v=548$.

Rb „ „ p_4-p_5 $n=4.86$ $v=938$; „ „ (?) p_4-p_6 $n=4.92$ $v=950$

N° 3. — Son addit. lim. sup. (?) p_7-p_8 $n=7.36$. Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=322$.

Rp lim. inf. p_2-p_3 $n=2.66$ $v=516$; lim. sup. (?) p_2-p_4 $n=2.91$ $v=565$.

Rb „ „ p_4-p_5 $n=4.46$ $v=865$; „ „ (?) p_4-p_6 $n=4.54$ $v=881$.

N° 4. — Son additionnel lim. sup. (?) p_7-p_8 $n=7.24$. Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=299$.

Rp lim. inf. p_2-p_3 $n=2.71$ $v=526$; lim. sup. (?) p_2-p_4 $n=2.79$ $v=541$.

Rb „ „ p_4-p_5 $n=4.95$ $v=960$; „ „ (?) p_4-p_6 $n=5.02$ $v=974$.

N° 5. — Son additionnel lim. sup. (?) p_7-p_8 $n=7.20$. Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=349$.

Rp lim. inf. p_2-p_3 $n=2.67$ $v=518$; lim. sup. (?) p_2-p_4 $n=2.63$ $v=568$.

Rb „ „ p_4-p_5 $n=4.86$ $v=943$; „ „ (?) p_4-p_6 $n=4.93$ $v=956$.

N° 6. — Son additionnel lim. sup. (?) p_7-p_8 $n=7.33$. Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=346$.

Rp lim. inf. p_2-p_3 $n=2.74$ $v=545$; lim. sup. (?) p_2-p_4 $n=2.92$ $v=581$.

Rb „ „ p_4-p_5 $n=4.80$ $v=975$; „ „ (?) p_4-p_6 $n=4.98$ $v=992$.

N° 7. — Le son additionnel est mal marqué et ne peut être utilisé. — Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=323$.

Rp lim. inf. p_2-p_3 $v=554$; lim. sup. (?) p_2-p_4 $v=603$.

Rb „ „ p_4-p_5 $v=987$; „ „ (?) p_4-p_6 $v=991$.

N° 8. — Son additionnel lim. sup. (?) p_7-p_8 $n=7.48$. Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=327$.

Rp lim. inf. p_2-p_3 $n=2.72$ $v=552$; lim. sup. (?) p_2-p_4 $n=2.93$ $v=595$.

Rb „ „ p_4-p_5 $n=4.89$ $v=993$; „ „ (?) p_4-p_6 $n=5.01$ $v=1017$.

N° 9. — Son additionnel lim. sup. (?) p_7-p_8 $n=7.20$. Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=326$.

Rp lim. inf. p_2-p_3 $n=2.68$ $v=549$; lim. sup. (?) p_2-p_4 $n=3.02$ $v=619$.

Rb „ „ p_4-p_5 $n=4.81$ $v=986$; „ „ (?) p_4-p_6 $n=4.88$ $v=1000$.

N° 10. — Son additionnel p_7-p_8 $n=7.34$ (lim. sup.?). Premier centre lim. sup. p_1-p_2 $v=296$.

Rp lim. inf. p_2-p_3 $n=2.77$ $v=598$; lim. sup. (?) p_2-p_4 $n=3.14$ $v=678$.

Rb „ „ p_4-p_5 $n=4.82$ $v=1041$; „ „ (?) p_4-p_6 $n=4.90$ $v=1058$.

Il n'a pas été possible, pour cette voyelle, d'obtenir pour les trois résonances de valeurs assez précises. Elles sont toutes les trois en contact l'une avec l'autre, et, comme la position des deux premières est déjà assez basse, le son additionnel résultant est lui aussi très voisin de la plus élevée et ne peut être isolé. Les limites les plus basses obtenues pour Rp et Rb donnent généralement une somme encore supérieure au chiffre obtenu pour ce son additionnel. Il paraît cependant que Rb est situé au-dessous du 5° sp, et Rp un peu au-dessus du 3°. Sous ces réserves, on a en moyenne:

Premier centre lim. sup. $v=320$ $mi_3-é$.

Rp lim. inf. $v=534$ ut $\sharp_4-cis''$ }
 „ sup. (?) $v=581 > ré_4-d''$ } int. 1.088 (seconde diminuée);
 moyenne $v=558 < ré \flat_4-des''$.

Rb lim. inf. $v=957 < si_4-h''$ }
 „ sup. (?) $v=971 < si_4-h''$ } int. 1.015 (demi-ton mineur);
 moyenne $v=964$ si_4-h'' .

Rapport Rb Rp = 1.729 (sixte augmentée).

Le renforcement s'étend jusqu'à p_5 ; les maxima d'amplitude et d'intensité sont partout en p_5 et I_5 .

Voyelle o.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	156	4.4	31.4	0	158	1.5	12.7	0	158	1.4	10.7	0	158	2.4	22.4	0
2	312	2.4	17.1	1	316	2.8	23.7	1	316	2.4	18.3	1	316	1.8	16.8	0
3	468	3.4	24.3	3	474	2.4	20.3	1	474	4.1	31.3	4	474	2.2	20.6	1
4	624	14.0	100.0	78	632	11.8	100.0	56	632	13.1	100.0	75	632	9.8	91.6	37
5	780	3.5	25.0	7	790	2.4	20.3	4	790	6.0	45.8	24	790	4.5	42.1	12
6	936	10.6	75.7	100	948	10.6	84.7	100	948	10.0	76.3	100	948	10.7	100.0	100
7	1092	8.1	57.8	80	1106	7.5	63.5	69	1106	1.0	7.6	1	1106	2.3	21.5	6
8	1248	0.8	5.7	1	1264	1.6	13.6	4	1264	0.5	3.8	0	1264	1.2	11.2	2
9	1404	0.7	5.0	1	1422	1.2	10.2	3	1422	0.0	0.0	0	1422	0.2	1.9	0

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	156	6.7	47.8	1	159	6.4	34.4	0	161	2.1	14.9	0	163	2.2	24.0	0
2	312	3.8	27.1	2	318	3.3	17.8	0	322	3.8	26.9	1	326	4.8	52.3	3
3	468	2.8	20.0	2	477	5.1	27.4	2	483	3.5	24.8	2	489	4.2	45.8	5
4	624	14.0	100.0	87	636	18.6	100.0	45	644	14.1	100.0	65	652	9.0	98.1	40
5	780	2.9	20.7	6	795	11.1	60.0	25	805	4.6	32.6	10	815	5.5	60.0	25
6	936	10.0	71.4	10	954	18.5	99.4	100	966	11.5	78.0	100	978	9.2	100.0	100
7	1092	8.6	61.4	100	1113	3.5	18.8	5	1127	2.1	14.9	5	1141	1.2	13.1	2
8	1248	0.5	3.5	0	1272	0.2	1.0	0	1288	0.4	2.8	0	1304	0.8	8.7	1
9	1404	1.8	12.9	7	1431	0.9	4.8	1	1449	0.5	3.5	0	1467	1.6	17.4	6

$$m \ p_{10}-p_{19}=0.3 \ (1.6 \ \%).$$

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	163	1.0	8.7	0	166	2.4	20.3	0
2	326	2.6	22.6	1	332	1.6	13.6	0
3	489	3.6	31.3	2	498	1.6	13.6	1
4	652	9.6	83.5	31	664	11.8	100.0	50
5	815	4.6	40.0	11	830	3.1	26.3	5
6	978	11.5	100.0	100	996	11.1	94.0	100
7	1141	1.0	8.7	1	1162	2.9	24.6	9
8	1304	1.1	9.5	2	1328	2.0	16.9	6
9	1467	0.2	1.7	0	1494	1.7	14.4	5

Remarques. — N° 1. — La gravité du son fondamental laisse encore apercevoir distinctement les trois régions de résonance dont les maxima sont marqués par p_1 , p_4 et p_6 . Elles sont en contact l'une avec l'autre, car il est possible que p_2 et p_3 soient influencés chacun par deux résonances, et de même p_5 l'est sûrement par p_4 et p_6 . Le calcul donne:

Premier centre p_1-p_2 $v=211$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=594$; lim. sup. p_3-p_5 $v=626$.

Rb „ „ p_5-p_7 $v=969$; „ „ p_5-p_7 $v=1003$.

N° 2. — Premier centre p_1-p_2 $v=262$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=605$; lim. sup. p_3-p_5 $v=632$.

Rb „ „ p_5-p_7 $v=988$; „ „ p_6-p_7 $v=1013$.

N° 3. — Le premier centre est ici moins net, et c'est l'analogie seule qui permet d'en postuler l'existence.

Premier centre p_1-p_2 $v=259$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=594$; lim. sup. p_3-p_5 $v=645$.

Rb „ „ p_5-p_7 $v=902$; „ „ p_6-p_7 $v=962$.

N° 4. — Le premier centre est bien marqué: p_1-p_2 $v=226$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=604$; lim. sup. p_3-p_5 $v=654$.

Rb „ „ p_5-p_7 $v=927$; „ „ p_6-p_7 $v=972$.

N° 5. — Premier centre p_1-p_2 $v=212$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=597$; lim. sup. p_3-p_5 $v=626$.

Rb „ „ p_5-p_7 $v=978$; „ „ p_6-p_7 $v=1008$

N° 6. — Premier centre p_1-p_2 $v=213$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=603$; lim. sup. p_3-p_5 $v=663$.

Rb „ „ p_5-p_7 $v=917$; „ „ p_6-p_7 $v=979$.

N° 7. — La forte amplitude p_2 indique peut-être que le premier centre est plus élevé; en ce cas il est très vraisemblable qu'il agit sur p_3 .

Premier centre p_1-p_2 $v=266$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=612$; lim. sup. p_3-p_5 $v=652$.

Rb " " p_5-p_7 $v=943$; lim. sup. p_6-p_7 $v=990$.

N° 8. — Comme n° 7. — En p_9 indication d'un son additionnel duquel on ne peut rien tirer, puisqu'on ne peut isoler aucun des termes de la somme.

Premier centre p_1-p_2 $v=275$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=600$; lim. sup. p_3-p_5 $v=663$.

Rb " " p_5-p_7 $v=934$; " " p_6-p_7 $v=998$.

N° 9. — Le premier centre est mal marqué. En p_8 trace d'un renforcement, qui serait alors l'octave de Rp.

Premier centre p_1-p_2 $v=282$.

Rp lim. inf. p_3-p_4 $v=608$; lim. sup. p_3-p_5 $v=662$.

Rb " " p_5-p_7 $v=944$; " " p_6-p_7 $v=991$.

N° 10. — L'influence réciproque du premier centre et de Rp doit être nulle ou faible. La lente décroissance des amplitudes p_8 et p_9 doit tenir à des renforcements secondaires (octave de p_4 , son additionnel $Rp + Rb$).

Premier centre p_1-p_2 $v=232$.

Rp lim. inf. p_5-p_4 $v=644$; lim. sup. p_3-p_3 $v=679$.

Rb " " p_5-p_7 $v=994$; " " p_6-p_7 $v=1031$.

En résumé, les trois centres sont suffisamment distincts pour qu'on puisse les localiser approximativement. Les moyennes fournissent:

Premier centre: $v=244 > si_3-h'$.

Rp lim. inf. $606 > ré \sharp_4-dis''$
 lim. sup. $650 > mi_4-e''$ } interv. $1.073 \frac{1}{2}$ ton majeur;
 moyenne $628 > mi \flat_4-es''$.

Rb lim. inf. $950 > si_4-h''$
 lim. sup. $995 > si \sharp_4-his''$ } interv. $1.047 \frac{1}{2}$ ton mineur;
 moyenne $972 si_4-ut \flat_5, h''-ces'''$.

L'intervalle Rp/Rb est de 1.548, soit une quinte augmentée.

Le renforcement des amplitudes s'étend à peu près sans interruption de p_1 à p_7 (parfois à p_9 grâce aux résonances secondaires). Le maximum d'amplitude se trouve le plus souvent à Rp (p_4), et trois fois à Rb (p_6). Mais, la différence d'amplitude étant toujours assez faible, le maximum d'intensité est toujours à la résonance buccale. (I_6 , 2 fois à I_7).

Voyelle ö.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	177	2.0	21.8	1	177	3.2	50.9	6	179	2.6	42.6	5	179	4.3	79.6	13
2	354	9.2	100.0	100	254	6.3	100.0	100	358	6.1	100.0	100	358	5.4	100.0	85
3	531	4.5	49.1	53	531	3.6	57.2	73	537	2.9	47.6	51	537	3.9	72.2	100
4	708	1.6	17.4	12	708	1.5	23.9	23	716	1.4	23.0	21	716	0.6	11.1	4
5	885	1.2	13.1	10	885	1.2	19.1	21	895	0.5	8.2	3	896	0.7	13.0	8
6	1062	0.5	5.5	2	1062	0.6	9.5	9	1074	0.5	8.2	7	1074	0.3	5.6	2
7	1239	0.5	5.5	3	1239	0.6	9.5	10	1253	0.4	6.6	5	1253	0.4	7.4	6

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	182	3.1	51.8	6	183	7.8	48.1	4	183	1.8	9.9	0	183	3.4	21.1	1
2	364	6.0	100.0	93	366	16.2	100.0	79	366	18.1	100.0	100	366	16.1	100.0	67
3	546	4.1	68.5	100	549	5.4	33.3	20	549	5.3	29.3	20	594	4.5	28.0	12
4	728	0.6	10.0	4	732	9.1	56.2	100	732	7.9	43.6	77	732	9.8	60.9	100
5	910	1.5	25.1	38	915	1.2	7.4	3	915	1.6	8.8	5	915	1.8	11.2	5
6	1092	0.4	6.7	4	1098	1.5	9.3	6	1098	1.1	6.1	3	1098	1.3	8.1	4
7	1274	0.2	3.3	1	1281	0.6	3.7	1	1281	0.4	2.2	1	1281	0.3	1.9	0
8					1464	0.3	1.9	0	1464	0.4	2.2	1	1464	1.9	11.8	15
9					1647	0.6	3.7	2	1647	0.5	2.8	2	1647	0.9	5.6	4
10					1830	0.4	2.5									
11					2013	0.1	0.6									
12					2196	0.4	2.5									

m p₁₃-p₁₉ 0.2 (1.2 %)

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	187	3.1	41.2	4	189	4.3	64.0	11
2	374	7.5	100.0	96	378	6.7	100.0	100
3	561	5.1	67.8	100	567	3.2	47.7	53
4	748	0.5	6.7	2	756	1.4	20.9	18
5	935	1.1	14.6	14	945	0.6	8.9	4
6	1122	0.7	9.3	8	1134	0.6	8.9	8
7	1309	0.4	5.3	3	1323	0.5	7.5	8

Remarques. N° 1. — Les trois centres de résonance sont en contact et renforcent les 4 premiers sons partiels. La chute insignifiante d'amplitude de p_4 à p_5 indique la présence en p_5 d'une résonance secondaire (son additionnel $2 + 3$), mais dont le centre paraît plus élevé que $n=5$. Il est manifestement impossible d'appliquer ici le calcul barycentrique. L'amplitude maxima p_2 tombe à l'octave dans les deux sens à des valeurs presque égales. Mais, sachant que vers le bas deux centres de résonance agissent sur p_1 et p_2 , et qu'il faut attribuer surtout à Rb l'amplitude des sons partiels supérieurs au deuxième, on peut en conclure que Rb est situé assez près, et plutôt au-dessus de $n=3$. Sur la position de Rp et du premier centre on ne saurait rien dire.

N° 2. Mêmes remarques. — N° 3 comme n° 1; la résonance secondaire est mal indiquée.

N° 4. — La forte amplitude p_1 semble marquer l'action du premier centre.

N° 5. — Le son additionnel p_5 est bien marqué.

N° 6. — Les 3 ondes 6—8 appartiennent au mot *fonte* prononcé dans une autre série que les 7 autres (*once*), et ont donné des résultats un peu différents. — Le premier et le deuxième centre sont évidemment mêlés. La résonance buccale est séparée de Rp, et a pour lim. inf. p_3-p_5 , $v=682$. Une résonance secondaire est indiquée par p_6 .

N° 7. — Rb lim. inf. p_3-p_5 $v=686$; mais elle est sûrement bien plus près de $n=4$ $v=732$.

N° 8. — Rb lim. inf. p_3-p_5 $v=701$; en p_3 octave de p_4 (et 2° octave de p_2).

N° 9. — Le son additionnel est bien marqué; son centre est entre p_5 et p_6 . Faut-il en conclure, comme Rb ne saurait être sensiblement au-dessus de $n=3$ (faible amplitude de p_4), que Rp est située entre $n=2$ et $n=3$?

N° 10. — On ne peut rien dire de précis.

Les analyses, bien que le son fondamental soit assez bas (en moyenne 182 v. d.), ne donnent pas de résultats satisfaisants, les trois résonances étant très rapprochées les unes des autres. En outre les résultats, pour la résonance buccale, diffèrent dans les deux séries; la moyenne des 3 ondes 6—8 donnerait pour Rb (lim. inf.) env. $v=690$, celle des 7 autres $v=544$. Pour la résonance de l'arrière-bouche, on ne peut rien dire, sinon que, vu la distribution des amplitudes et la position de Rb plutôt au-dessus de $n=3$, la résonance Rp ne saurait être éloignée de $n=2$, soit $v=364$. Mais toutes ces valeurs sont très incertaines.

Voyelle ó.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	153	3.7	33.6	1	154	1.7	12.3	0	154	2.2	17.6	0	155	3.1	23.8	0
2	306	10.8	98.2	24	308	13.8	100.0	31	308	12.5	100.0	35	310	13.0	100.0	33
3	459	1.4	12.7	1	462	1.3	9.4	1	462	2.3	18.4	3	465	4.2	32.3	8
4	612	11.0	100.0	100	616	12.3	89.2	100	616	10.6	84.8	100	620	11.2	86.1	100
5	765	0.4	3.6	0	770	0.6	4.4	0	770	0.5	4.0	0	775	1.9	14.6	4
6	918	0.9	8.2	2	924	1.3	9.4	2	924	0.4	3.2	0	930	0.1	0.8	0
7	1071	0.4	3.6	0	1078	0.6	4.4	1	1078	0.5	4.0	1	1085	0.2	1.5	0
8					1232	0.8	5.8	2								
9					1386	0.7	5.1	2								
10					1540	0.6	4.4	1								

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	159	2.9	13.2	0	163	1.6	14.3	0	166	3.5	31.3	6	168	2.7	22.3	0
2	318	14.4	100.0	11	326	11.2	100.0	29	332	10.7	95.6	23	336	12.1	100.0	33
3	477	0.9	6.2	0	489	2.7	24.1	4	498	2.4	21.4	2	504	1.1	9.1	1
4	636	12.4	86.1	100	652	10.3	92.4	100	664	11.2	100.0	100	672	10.4	85.9	100
5	795	0.6	4.4	0	815	1.5	13.4	3	830	1.3	11.6	2	840	1.0	8.3	1
6	954	0.7	4.9	1	978	1.1	9.8	3	996	1.8	16.1	6	1008	1.4	11.6	4
7	1113	0.5	3.5	0	1141	0	0	0	1162	0.1	0.9	0	1176	0.3	2.5	0
8													1344	0.6	5.0	1
9													1512	0.6	5.0	1

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	168	2.2	20.7	0	171	3.3	28.4	0
2	336	10.6	100.0	29	342	11.6	100.0	25
3	504	2.9	27.3	5	513	2.0	17.2	2
4	672	9.8	92.4	100	684	11.6	100.0	100
5	840	1.0	9.4	2	855	0.6	5.2	0
6	1008	1.3	12.3	4	1026	1.4	12.1	3
7	1176	0.2	1.9	0	1197	0.4	3.4	0
8	1344	0.2	1.9	0				
9	1512	0.5	4.7	1				

Remarques. N° 1. — On voit un groupe de renforcement embrassant les 4 premiers sons partiels, et un harmonique isolé d'amplitude notable (p_6). Tous les centres de résonance sont en contact, et il sera par suite impossible d'en dégager isolément aucun avec certitude, même à l'aide du son additionnel p_6 (visiblement $p_2 + p_4$).

C'est la résonance buccale qui se marque dans p_4 , et la résonance de l'arrière-bouche dans le renforcement de p_2 . Mais l'importance du son fondamental, qui ressort encore mieux si on tient compte du fait que p_3 subit l'influence de p_4 , montre qu'il doit y avoir, outre R_p , un centre encore plus grave qui agit. Si on admet en effet qu'il y a une seule résonance en jeu, il faut la placer à une certaine distance au-dessous de $n=2$ pour expliquer l'amplitude p_1 . Mais le son additionnel marqué en p_6 , et dont le centre est probablement un peu au-dessus de $n=6$ (p_5 est influencé par p_4) suppose que la résonance marquée par p_2 doit avoir son centre tout près de ce son partiel. On ne s'explique plus alors pourquoi l'amplitude décroît brusquement à distance de quinte (p_3 est influencé au moins autant par p_4 que par p_2), et beaucoup moins à distance d'octave. On peut donc admettre que R_p se trouve aux environs de $n=2$, soit $v=306$, encore séparée par une faible distance du premier centre.

Pour Rb on a lim. inf. p_3-p_5 $v=600$; lim. sup. p_4-p_5 $v=618$ (limite trop élevée si p_5 subit l'influence de p_6); elle est donc très voisine de $n=4$.

Quant au premier centre, il est impossible de rien dire de sa position.

N° 2. — Le deuxième son partiel a la plus forte amplitude (ce sera le cas dans la majorité des ondes analysées). Le raisonnement ci-dessus s'applique en principe à toutes les ondes. On a donc :

Premier centre indéterminable. R_p aux environs de $v=308$.

Rb lim. inf. p_3-p_5 $v=608$; lim. sup. p_4-p_5 $v=624$. Son additionnel marqué en p_6 .

N° 3. — R_p env. $v=308$. Il n'y a pas de son additionnel bien marqué. La forte amplitude p_3 indique peut-être que les deux résonances, (ou l'une d'elles) se sont déplacées pour se rapprocher.

Rb lim. inf. p_3-p_5 $v=596$; lim. sup. p_4-p_5 $v=624$.

N° 4. — Pas de son additionnel marqué. Rp vraisemblablement aux environs de $v = 310$. Rb lim. inf. $p_3 - p_5$ $v = 600$; lim. sup. $p_4 - p_5$ $v = 643$.

N° 5. — Le son additionnel est faiblement marqué, et paraît étalé sur $p_5 - p_7$. Faudrait-il en conclure au déplacement d'une résonance, et, en ce cas, que Rp se soit un peu éloigné de $n = 2$? On ne peut rien affirmer tant qu'on ne connaîtra par les conditions d'apparition de ces sons combinatoires. Il faut donc s'en tenir au résultat:

Rp autour de $v = 318$.

Rb lim. inf. $p_3 - p_5$ $v = 634$; lim. sup. $p_4 - p_5$ $v = 644$.

N° 6. — Rp autour de $v = 326$. Rb lim. inf. $p_3 - p_5$ $v = 639$; lim. sup. $p_4 - p_5$ $v = 673$ (trop haute si p_5 est influencé par le son additionnel).

N° 7. — Rp autour de $v = 332$. Rb lim. inf. $p_3 - p_5$ $v = 652$; lim. sup. $p_4 - p_5$ $v = 682$.

N° 8. — Rp autour de $v = 336$. Rb lim. inf. $p_3 - p_5$ $v = 670$; lim. sup. $p_4 - p_5$ $v = 687$.

N° 9. — Rp autour de $v = 336$. Rb lim. inf. $p_3 - p_5$ $v = 648$; lim. sup. $p_4 - p_5$ $v = 687$.

N° 10. — Rp autour de $v = 342$. Rb lim. inf. $p_3 - p_5$ $v = 667$; lim. sup. $p_4 - p_5$ $v = 693$.

En résumé il est impossible, bien que le son fondamental soit relativement grave (153 à 171 v. d., mi_2 — fa_2), de localiser avec quelque précision les résonances. Le premier centre se laisse deviner. La résonance de l'arrière-bouche peut être placée aux environs du 2^e son partiel, soit en moyenne $v = 322$ (mi_3 , e'). La résonance buccale a pour limite inférieure $v = 631$ ($< mi_4$), pour limite supérieure $v = 658$ (fa_4), intervalle 1.043; la moyenne de ces deux valeurs donne $v = 644$ (mi_4 , e''). L'intervalle entre ces deux résonances doit, en fait, différer assez peu d'une octave. C'est ce qui ressort déjà de la seule inspection des tableaux, où l'harmonique d'amplitude maxima est soit le 2^e soit le 4^e son partiel; le maximum d'intensité va naturellement toujours au 4^e.

Voyelle u.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	231	6.8	100.0	23	231	5.2	100.0	8	231	6.6	100.0	9	233	5.6	100.0	72
2	462	2.2	32.3	6	462	2.9	55.7	10	462	2.6	39.5	6	466	2.4	43.0	54
3	693	0.3	4.4	0	693	0.9	17.3	1	693	1.5	22.8	4	699	1.8	32.2	68
4	924	3.6	52.9	100	924	4.5	86.4	100	924	5.5	83.6	100	932	1.7	30.4	100
5	1155	0.9	13.2	11	1155	1.6	30.7	20	1155	1.3	19.8	8	1165	0.5	9.0	14
6	1386	0.6	8.8	6	1386	0.5	9.6	3	1386	0.8	12.2	5	1398	0.5	9.0	16
7	1617	0.2	2.9	1	1617	0.3	5.8	1	1617	0.5	7.6	3	1631	0.7	12.5	58
													1864	0.8	14.3	91
													2097	0.6	10.7	77

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	236	6.9	59.0	2	247	7.3	100.0	27	250	9.1	100.0	43	252	4.0	100.0	17
2	472	2.4	20.5	1	494	2.0	27.4	8	500	2.4	26.4	12	504	1.7	42.5	12
3	708	3.0	25.7	4	741	1.7	23.3	13	750	1.6	17.6	12	756	1.9	47.5	35
4	944	11.7	100.0	100	988	1.8	24.7	27	1000	3.5	38.5	100	1008	2.0	50.0	70
5	1180	0.8	6.8	1	1235	0.9	12.3	9	1250	1.1	12.1	14	1260	0.3	7.5	2
6	1416	0.6	5.1	1	1482	0.4	5.5	3	1500	0.6	6.6	6	1512	0.4	10.0	5
7	1652	0.5	4.3	0	1729	0.4	5.5	4	1750	0.9	9.9	21	1764	0.5	12.5	10
8	1888	0.9	7.7	2	1976	1.8	24.7	100	2000	0.5	5.5	9	2016	1.2	30.0	100
9	2124	0.3	2.6	0	2223	0.4	5.5	5	2250	1.0	11.0	43	2268	0.4	10.0	14

$$m \text{ } p_{10}-p_{13}=0.4 \text{ (3 \%)}$$

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	254	3.4	100.0	18	256	3.9	100.0	10
2	508	1.1	32.3	6	512	1.5	38.4	6
3	762	2.1	61.7	64	768	2.0	51.2	23
4	1016	2.0	58.8	100	1024	2.1	53.8	44
5	1270	0.4	11.8	5	1280	1.4	35.8	31
6	1524	0.5	14.7	15	1536	0.5	12.8	6
7	1778	0.6	17.6	24	1792	1.0	25.6	30
8	2032	0.6	17.6	34	2048	1.6	41.0	100
9	2286	0.2	5.9	5	2304	1.0	25.6	54

Remarques. — N° 1. — On constate deux groupes de renforcement, l'un formé par p_1 et p_2 , l'autre par p_4 — p_6 . — Le second correspond évidemment à la résonance buccale. Les renforcements p_5 et p_6 peuvent être dus (en partie au moins pour p_5) au son additionnel. Les deux résonances inférieures sont mêlées, et trop confondues pour qu'on puisse les séparer directement. La limite supérieure de Rb, donnée par p_4 — p_5 , est $n = 4.30$ $v = 993$; la limite inférieure serait donnée par p_3 — p_4 $n = 3.93$ $v = 908$. Une valeur moyenne, affectée de deux erreurs en sens contraires, est fournie par p_3 — p_5 $v = 973$. La limite inférieure du son additionnel est p_5 — p_6 $n = 5.40$. En la combinant avec la limite inférieure de Rb, on aurait pour Rp la valeur $n = 1.47$. Il semblerait donc que Rp fût placé aux environs (plutôt au-dessous?) de $n = 1.5$ $v = 346$. S'il en est ainsi, le premier centre doit être près du son fondamental.

N° 2. — Même distribution des amplitudes; il semble pourtant que Rb soit ici plus près de p_5 . La netteté du son additionnel en est affectée, et il est inutilisable. On a pour Rb la valeur moyenne p_3 — p_5 $v = 947$.

N° 3. — Comme n° 2. Rb p_3 — p_5 $v = 919$.

N° 4. — La résonance buccale est ici très affaiblie. On constate en p_7 — p_9 un renforcement secondaire, qui représente l'octave de cette résonance. Il en résulterait que Rb est située entre $n = 3$ et $n = 4$, mais plus près de 4 que de 3. Le son additionnel $Rp + Rb$ est peut-être indiqué par les amplitudes relativement fortes p_5 — p_6 .

Rb p_3 — p_5 $v = 857$ (sans doute lim. inf.); lim. sup. p_4 — p_5 $v = 986$.

N° 5. — Le son additionnel est faiblement marqué. En p_8 octave de Rb.

Rb lim. inf. p_3 — p_5 $v = 894$; lim. sup. p_4 — p_5 $v = 958$.

N° 6. — La résonance buccale est faiblement marquée. On est surpris que son octave p_8 ait une amplitude égale à p_4 ; ceci indiquerait que Rb est très voisin de $n = 4$.

Rb lim. inf. p_3 — p_5 $v = 939$; lim. sup. p_4 — p_5 $v = 1035$.

N° 7. — Des deux renforcements secondaires p_7 et p_9 , le premier semble appartenir au son additionnel, le second à l'octave de Rb, qui serait alors au-dessus de $n = 4$. La résonance de l'arrière-bouche serait aussi au-dessus de $n = 2$.

Rb lim. inf. p_3-p_5 $v=980$; lim. sup. p_4-p_5 $v=1060$.

N° 8. — Le renforcement à l'octave de Rb a son centre tout près de $n=8$ (au-dessous ou au-dessus selon que p_6-p_7 représentent ou non un son additionnel), d'où il résulterait que Rb est très près de $n=4$; ceci s'accorde avec la distribution des amplitudes (v. n° 10).

Rb lim. inf. p_3-p_5 $v=912$; lim. sup. $v=1043$.

N° 9. — L'analogie des n°s 8 et 10 porte à croire que Rb est voisine de $n=4$.

Rb lim. inf. p_3-p_5 $v=922$; lim. sup. $v=1059$.

N° 10. — Le son additionnel $Rp + Rb$ et l'octave de Rb sont marqués en p_7-p_9 , mais mêlés; il est cependant vraisemblable que l'octave a son centre au dessus de p_8 (forte amplitude de p_9), et que par suite le son additionnel doit avoir son centre près de p_7 . On pourrait, il est vrai, admettre d'abord qu'il n'y a qu'une résonance secondaire, l'octave de Rb, très fortement marquée et étalée des deux côtés. Mais elle aurait son centre en p_8 , et l'amplitude p_3 resterait inexplicée. — Il semble donc plus naturel d'admettre deux influences. Il résulterait de là que Rb est située un peu au-dessus de $n=4$; mais il en découle aussi que Rp a monté et se trouve plus près de $n=3$. Ces conclusions sont confirmées par la distribution des amplitudes p_2-p_5 . Il est en effet remarquable que l'amplitude décroisse moins sur la quarte p_4-p_3 que sur la tierce majeure p_4-p_5 . Si, pour en rendre compte, on reporte le centre de Rb entre $n=3$ et $n=4$, et par suite celui de Rp aux environs, ou même au-dessous de p_2 , les résonances secondaires p_7-p_9 deviennent inexplicables. Il y a donc lieu d'admettre que Rp est plus près de $n=3$ que dans les premières ondes. Ce raisonnement s'applique par analogie aux n°s 8 et 9, les amplitudes les plus basses présentant une distribution semblable.

Rb lim. inf. p_3-p_5 $v=996$; lim. sup. p_4-p_5 $v=1098$.

Comme on l'a vu, la résonance buccale est la seule dont la position puisse être indiquée avec une certaine approximation. Les ondes 4-10 donnent en moyenne pour la lim. inf. $v=931 > si_4 (b'')$, et pour la limite sup. $v=1034 > ut_5 (c''')$ (intervalle 1.011 = ton mineur). En prenant la moyenne, et en la combinant avec celle des ondes 1-3, on a pour moyenne générale une valeur approximative

$$Rb \ v=972 > si_4 (h'').$$

La résonance de l'arrière-bouche ne se laisse pas déterminer. Il semble du reste qu'elle varie, et soit dans certains cas au-dessous de $n=2$, dans d'autres au-dessus; encore faut-il ajouter que cette supposition, tirée de la considération de résonances secondaires, ne peut prétendre à une grande certitude. La moyenne du son fondamental étant de $v=242$, on pourrait dire, sous les réserves qui viennent d'être faites, que Rp varie autour de $v=484 (si_3-h')$.

C'est partout le son fondamental qui a la plus forte amplitude; le maximum d'intensité est au 4° sp. (deux fois à I_8).

Voyelle ú.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	217	3.7	97.3	9	220	4.5	100.0	12	221	2.1	46.6	2	221	0.2	2.8	0
2	434	1.4	36.8	5	440	2.1	46.6	11	442	1.8	40.0	4	442	1.7	24.0	2
3	651	3.8	100.0	92	660	4.2	93.2	100	663	4.5	100.0	63	663	7.1	100.0	100
4	868	3.0	78.9	100	880	2.7	59.9	71	884	4.2	93.2	100	884	4.3	60.6	64
5	1085	0.7	18.4	9	1100	1.7	37.7	42	1105	1.8	40.0	26	1105	1.6	22.6	14
6	1302	0.8	21.0	16	1320	1.7	37.7	61	1326	0.3	6.7	1	1326	1.2	16.9	11
7	1519	0.5	13.2	10	1540	0.2	4.4	1	1547	0.4	8.9	2	1547	0.8	11.3	6
8	1736	0.2	5.3	2					1768	1.5	33.3	52				
9	1953	0.3	7.9	4					1989	0.2	4.4	0				

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	221	3.1	86.2	5	221	2.0	54.0	2	224	1.7	34.0	1	227	5.3	100.0	10
2	442	1.6	44.5	6	442	2.1	56.7	13	448	0.9	18.0	1	454	0.6	11.3	0
3	663	3.6	100.0	68	663	3.7	100.0	89	672	5.0	100.0	100	681	5.3	100.0	100
4	884	3.3	91.7	100	884	2.9	78.3	100	896	2.8	56.0	54	908	3.3	62.4	69
5	1105	0.6	16.7	6	1105	0.9	24.2	15	1120	0.8	16.0	8	1135	1.1	20.8	12
6	1326	0.5	13.9	4	1326	1.1	29.7	34	1344	0.9	18.0	11	1362	0.4	7.6	2
7	1547	0.1	2.9	0	1547	0	0	0	1568	0.5	10.0	6	1589	0.6	11.3	6
8	1768	0.7	19.5	16	1768	0.5	13.5	9	1792	0.5	10.0	7	1816	0.5	9.5	6
9	1989	0.1	2.9	1	1989	0.6	16.2	24	2016	0	0	0	2043	0	0	0

m p₁₀-p₁₉ 0.2 (5.4 ‰)

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	227	3.2	89.0	7	228	2.2	42.2	2
2	454	1.6	44.5	7	456	2.4	46.1	10
3	681	3.6	100.0	81	684	5.2	100.0	100
4	908	3.0	83.4	100	912	3.5	67.2	80
5	1135	1.2	33.4	25	1140	1.6	30.7	27
6	1362	0.4	11.1	4	1368	1.3	25.0	25
7	1589	0.4	11.1	5	1596	0.8	15.4	14
8	1816	0.4	11.1	6				
9	2043	0.6	16.7	17				

Remarques. — N° 1. — La distribution des amplitudes montre deux renforcements principaux, en p_1 et en p_2-p_4 . Un faible renforcement secondaire est indiqué en p_6-p_7 , et pourrait marquer l'octave du centre qui influe sur p_3-p_4 . Ce centre, s'il est unique, est situé entre $n=3$ et $n=4$, et serait alors la résonance buccale, pour laquelle on obtiendrait p_3-p_4 $v=746$. Les deux résonances inférieures seraient alors situées au-dessous de p_3 , et même de p_2 vu la faible amplitude de ce sp. Elles doivent alors être voisines l'une de l'autre.

N° 2. — Même distribution des amplitudes; mais p_5-p_6 y sont plus forts, ce qui indique une résonance secondaire. La considération de p_2-p_4 montrerait que Rb est assez voisine de p_3 , plutôt en dessus, puisque p_2 est influencé par les résonances inférieures. Dès lors il faudrait voir en p_6 un renforcement à l'octave, qu'on s'attendrait du reste à voir encore agir sur p_7 . L'amplitude p_5 peut être due en partie à un son additionnel entre Rb et une des résonances inférieures. — L'interprétation des résultats est nécessairement difficile à cause du voisinage des trois résonances. Quant à la lente décroissance des amplitudes vers le haut, on pourrait objecter qu'elle peut tenir aux propriétés du résonateur buccal quand il a la forme déterminée pour l'articulation de u . On verra, dans l'examen des autres ondes, que la discussion des résultats est assez épineuse, ce qui tient en grande partie à la hauteur du son fondamental. On aurait pour Rb:

Rb lim. inf. p_2-p_4 $v=675$; lim. sup. p_3-p_4 $v=746$.

N° 3. — L'apparition de la résonance secondaire p_8 cause des difficultés. Elle a son centre près de $n=8$ (p_7-p_9 $n=7.91$). Qu'on la regarde comme un renforcement à l'octave (de p_4) ou comme un son additionnel, l'amplitude p_3 reste inexpliquée. Faut-il croire qu'elle est renforcée à la fois par un son différentiel entre Rb (supposée voisine de $n=4$) et les résonances inférieures, et comme octave de ces résonances? mais il reste embarrassant que ce soit ce sp qui présente le maximum d'amplitude. Faut-il admettre la présence de deux centres de résonance dans cette région? Alors l'un devrait se trouver en p_4 , plutôt en dessus (pour expliquer l'amplitude p_5), l'autre en p_3 (plutôt en dessous). Ce dernier ne pourrait

alors être que Rp; mais ce résultat est inattendu et peu en harmonie avec celui des travaux antérieurs. — Par analogie avec les ondes précédentes, on admettra pour Rb p_3-p_4 $v=769$.

N° 4. — Cette onde offre aussi un résultat surprenant par la faiblesse du son fondamental. En p_5-p_7 , résonance secondaire. Il semble plus prudent de ne pas utiliser cette onde pour les calculs.

N° 5. — La résonance p_8 revient très nette, et pose le même problème que pour le n° 3.

Rb p_3-p_4 $v=800$.

N° 6. — En p_6 résonance secondaire (octave?). Le centre de Rb paraît voisin de $n=3$. Rb p_3-p_4 $v=760$.

N° 7. — Renforcement secondaire en p_6 , et, semble-t-il, en p_8 (chute brusque de l'amplitude en p_9); même problème que pour les n°s 3 et 5.

Rb p_3-p_4 $v=753$.

N° 8. — La résonance secondaire paraît avoir son centre vers $n=7$, ce qui s'accorderait avec l'hypothèse d'un seul centre de résonance entre p_3 et p_4 . La faiblesse de p_2 porte à croire que les deux résonances inférieures sont très rapprochées et au-dessous de $n=1.50$. Rb p_3-p_4 $v=767$.

N° 9. — V. n° 8. Rb p_3-p_4 $v=775$.

N° 10. Rb p_3-p_4 $v=775$. En p_6 une résonance secondaire.

Les remarques ci-dessus montrent que l'interprétation des analyses est malaisée. La raison en est évidemment que le son fondamental est trop élevé. En outre l'apparition de résonances secondaires au delà de Rb est parfois une nouvelle source de difficultés. Cependant les résultats des présentes analyses et ceux des études faites par d'autres auteurs portent à croire que les fortes amplitudes p_3-p_4 sont dues essentiellement à l'action de la résonance buccale, et l'on peut admettre provisoirement que le calcul entrepris sur ces deux amplitudes fournit une valeur assez approchée. On obtient alors comme valeur moyenne (en écartant le n° 4) Rb $v=755 < sol_4-g''$. Sur la position des centres inférieurs, il est impossible de rien dire; mais ils doivent se trouver tous les deux au-dessous de $n=2$, donc voisins l'un de l'autre. — Je rappellerai en passant que, dans ses études sur les voyelles finnoises, M. Pipping signale aussi des divergences, et remarque que la forme du résonateur buccal peut entraîner, pour de légères variations d'articulation, des variations assez grandes de la résonance.

L'analyse des voyelles u et ú, quand on en compare les résultats à ceux obtenus pour ó, est tout d'abord faite pour étonner. Tandis que, pour ó, la résonance buccale tombait à mi_4 , elle remonte pour u à la même valeur que pour o (vers si_4 , donc une quinte plus haut), et reste encore pour ú plus haute que pour ó. Ce résultat, qui semble paradoxal, peut tenir à plusieurs causes. — D'abord il convient de noter que les valeurs obtenues pour

u et ú sont affectées d'une assez grande incertitude; mais il reste pourtant assuré qu'elles sont supérieures à celle obtenue pour ó. Il faut remarquer en second lieu que, de toute façon, la résonance buccale, dans ces trois voyelles, est assez grave, et située dans la région des 3° et 4° sp, encore séparés par un grand intervalle. Il se trouve que, dans ces trois voyelles, la hauteur du son fondamental croît dans le même sens que celle de la résonance buccale: ó sf 161, Rb 644; ú sf 223 Rb 755; u sf 242, Rb 972. Il est donc possible que la hauteur du son fondamental pour u et ú contribue à ce résultat. Cependant on s'attendrait, si vraiment la résonance buccale pour u et ú était voisine de la valeur trouvée pour ó, qu'elle se marquât en p_2-p_3 , et non en p_3-p_4 ; et par suite il faut bien admettre malgré tout, comme résultat des présentes analyses, que la résonance buccale, qui baissait continûment de ò à õ, se relève pour u, et on doit chercher à expliquer ce fait. La langue s'élève, il est vrai, de ò à u, et le rétrécissement vélaire est plus accentué; mais, comme j'ai essayé de l'établir ailleurs ¹⁾, la forme de l'orifice buccal est très différente pour les deux voyelles. Pour ó la projection et l'arrondissement des lèvres (rapprochement des commissures) atteignent leur valeur maxima, et pour u la projection est moindre et l'ouverture buccale plus haute et surtout plus large. Il est parfaitement concevable que cet agrandissement de l'ouverture compense et au delà les autres différences articulatoires, et relève le son propre de la bouche. — Mais, avant de tenir ces résultats pour certains, il faudra refaire des analyses de ces voyelles sur des notes très basses.

¹⁾ J. Poirot. Sur la prononciation et le groupement des voyelles en français. *Neuphilol. Mitteilgn.* 1907, Ss. 37—44.

Voyelle y.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	243	1.5	55.5	2	246	1.3	50.1	1	246	0.9	41.0	1	246	4.1	100.0	8
2	486	2.7	100.0	29	492	2.6	100.0	37	492	2.2	100.0	21	492	2.3	56.1	11
3	729	1.5	55.5	21	738	1.3	50.1	20	738	1.4	63.7	21	738	1.3	31.7	8
4	972	1.0	37.0	16	984	0.6	23.1	7	984	0.6	27.3	7	984	1.0	24.4	8
5	1215	0.4	14.8	4	1230	0.5	19.3	8	1230	0.8	36.4	18	1230	0.9	22.0	11
6	1458	0.2	7.4	1	1476	0.0	0	0	1476	0.2	9.1	1	1476	1.2	29.3	28
7	1701	1.4	51.8	100	1722	1.2	46.2	100	1722	0.7	31.9	29	1722	2.0	48.8	100
8	1944	0.8	29.6	42	1968	0.7	27.0	47	1968	1.2	54.6	100	1968	0.6	14.6	11
9	2187	0.4	14.8	12	2214	0.5	19.3	32	2214	1.0	45.5	96	2214	0.5	12.2	8
10	2430	0.2	7.4	4	2460	0.7	27.0	70	2460	0.3	13.7	10	2460	0.5	12.2	14
11	2673	0.4	14.8	22	2706	0.5	19.3	34	2706	0.3	13.7	14	2706	0	0	0
12	2916	0.2	7.4	7	2952	0.4	15.4	27	2952	0.3	13.7	14	2592	0.5	12.2	20

$$m \text{ } p_{13} - p_{19} = 0.2 \text{ (4.8 \%)}$$

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	248	2.1	80.7	2	248	5.9	100.0	27	248	10.0	100.0	31	250	2.8	100.0	5
2	496	2.6	100.0	16	496	3.5	59.2	37	496	1.5	15.0	3	500	1.5	53.6	5
3	744	1.8	69.2	18	744	2.1	35.5	30	744	1.9	19.0	10	750	1.4	50.0	11
4	992	0.6	23.1	4	992	0.4	6.7	2	992	0.9	9.0	4	1000	0.3	10.7	1
5	1240	0.5	19.2	4	1240	0.3	3.4	2	1240	0.7	7.0	3	1250	0.2	7.1	1
6	1488	1.3	50.0	36	1488	1.7	28.7	83	1488	3.0	30.0	100	1500	0.4	14.3	4
7	1736	1.8	69.2	100	1736	1.6	27.0	100	1736	0.2	2.0	0	1750	1.8	64.3	100
8	1984	0.8	30.8	25	1984	1.3	21.9	81	1984	0.4	4.0	3	2000	0.2	7.1	1
9	2232	0.6	23.1	18	2232	0.9	15.2	50	2232	0.2	2.0	1	2250	0.9	32.1	38
10	2480	0.4	15.4	11	2480	0.5	8.4	19	2680	0	0	0	2500	0.5	17.9	16
11	2728	0.1	3.8	0	2728	0.3	5.0	7	2728	0.2	2.0	2	2750	0.4	14.3	10
12	2976	0.3	11.6	7	2976	0.1	1.7	1	2976	0.2	2.0	2	3000	0.2	7.1	3

Sp	N° 9				N 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	252	2.5	100.0	2	257	2.7	100.0	6
2	504	2.5	100.0	10	514	1.1	40.7	4
3	756	1.7	68.0	9	771	1.8	66.7	23
4	1008	0.3	12.0	0	1028	0.2	7.4	0
5	1260	0.1	4.0	0	1285	0.2	7.4	1
6	1512	0.1	4.0	0	1542	0.5	18.5	6
7	1764	2.3	92.0	100	1799	1.6	59.2	100
8	2016	0.5	20.0	5	2056	0.9	33.3	40
9	2268	0.9	36.0	23	2313	0.7	25.9	31
10	2520	0.2	8.0	2	2570	0.7	25.9	40
11	2772	0.2	8.0	2	2827	0.5	18.5	24
12	3024	0.2	8.0	2	3084	0.4	14.8	19

Remarques N° 1. — Un premier groupe de renforcement s'étend de p_1 à p_4 , et un second se montre en p_7 — p_8 . Ce dernier correspond évidemment à la résonance buccale, et donne pour Rb la valeur p_6 — p_8 $v=1762$. Des deux côtés de p_2 l'amplitude décroît inégalement, 55 %, resp. 37 % à distance d'octave; elle montre la même décroissance à la quinte supérieure qu'à l'octave inférieure. Il faut donc admettre l'action de deux centres inférieurs. De la lente décroissance des amplitudes vers le haut, on peut inférer que p_4 subit l'influence d'un renforcement secondaire, qui serait alors l'octave d'une résonance située vers $n=2$, et qui ne saurait être sensiblement au-dessus, car l'amplitude décroît fortement en p_5 . Il résulterait de là que Rp et le premier centre doivent se trouver très rapprochés, et agir ensemble sur p_1 — p_3 .

N° 2. — Même raisonnement que pour n° 1. Rb p_7 — p_8 $v=1813$. Vers p_4 — p_5 semble s'esquisser un renforcement secondaire qui pourrait contenir à la fois l'octave d'une résonance inférieure (vers p_4) et un son différentiel Rb—Rp (vers p_5).

N° 3. — Rb p_7 — p_9 $v=1993$. En p_5 une résonance secondaire, où doivent se confondre vers p_4 un renforcement à l'octave et vers p_5 un son différentiel. D'une façon générale, comme la résonance de l'arrière-bouche a un rang très bas (au-dessous de $n=2$), il est évident que les sons combinatoires qu'elle forme avec Rb devront être en contact avec la région renforcée par celle-ci; ils seront par suite difficiles à isoler et ne rendront plus, pour localiser Rp, les mêmes services qu'ailleurs.

N° 4. — Rb p_6 — p_8 $v=1682$. Le son fondamental est ici prépondérant; mais la lente décroissance des amplitudes p_3 — p_5 montre qu'il doit y avoir des renforcements secondaires (octave, son différentiel); peut-être en est-il de même au delà de p_8 .

N° 5. — V. n° 1. Rb p_6 — p_8 $v=1704$. Vers p_4 — p_5 résonance secondaire (?).

N° 6. — V. n° 4. Rb p_6 — p_8 $v=1713$.

N° 7. — Rb p_5-p_7 $v=1456$ (valeur exceptionnellement basse, mais qui compense celle de l'onde n° 3). — La distribution des amplitudes p_1-p_3 n'est pas sans offrir quelques difficultés, surtout à cause de p_3 . Que Rp se trouve placée si haut, c'est ce qu'il n'est guère possible d'admettre, en tenant compte des autres ondes: il faut donc plutôt voir en p_3 un renforcement à l'octave des résonances inférieures ou de l'une d'elles.

N° 8. — Mêmes remarques. Rb p_6-p_8 $v=1730$.

N° 9. — Vers p_9 son additionnel. Rb p_6-p_8 $v=1799$.

N° 10. — Rb p_6-p_8 $v=1832$. En p_3 il faut sans doute voir un renforcement à l'octave, car c'est ainsi que s'explique le plus aisément la brusque chute de l'amplitude en p_4 . En p_9 et au delà semble s'indiquer un son additionnel.

Dans toutes les ondes les deux résonances inférieures sont en contact et paraissent sensiblement confondues. L'analogie des dernières ondes pourrait faire croire que, même dans les premières, la forte amplitude de p_3 tient en partie à un renforcement à l'octave, d'où il pourrait résulter que ces résonances sont voisines de $n=1.5$. Pour des raisons indiquées plus haut, la considération des sons combinatoires n'offre pas d'utilité pratique.

On a donc en définitive:

Premier centre Rp Rb 1748 < la # ₅ -ais''.	}	indéterminés (non loin de $n=1.5$ $v=372 > \text{sol } \flat_3\text{-ges'}$?)
---	---	--

On constate deux régions de renforcement, presque toujours séparées par un fossé très net en p_6 ou p_5 ; la première s'étend jusque vers p_4 , la seconde de p_7 vers p_9 ou p_{10} . Le maximum d'amplitude est en p_1 ou p_2 , donc aux résonances inférieures; la résonance buccale offre partout le maximum d'intensité (généralement I_7).

Voyelle ý.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	224	8.0	100.0	30	225	10.0	100.0	39	228	11.2	100.0	27	228	2.4	100.0	1
2	448	1.6	20.0	5	450	8.0	8.0	1	456	0.1	0.9	0	456	1.3	54.2	2
3	672	1.0	12.5	4	675	2.4	24.0	20	684	2.8	25.0	15	684	2.4	100.0	15
4	896	0.7	8.8	4	900	0.1	1.0	0	912	0.4	3.6	0	912	0.5	20.9	1
5	1120	0.6	7.5	5	1125	0.3	3.0	1	1140	0.5	4.5	1	1140	0.5	20.9	1
6	1344	1.0	12.5	18	1350	0.5	5.0	3	1368	0.3	2.7	0	1368	0.6	25.0	3
7	1568	0.8	10.0	14	1575	0.5	5.0	5	1596	0.5	4.5	2	1596	0.5	20.9	4
8	1792	1.8	22.5	100	1800	2.0	20.0	100	1824	2.7	24.1	100	1824	2.3	95.9	100
9	2016	0.3	3.8	3	2025	1.0	10.0	33	2052	0.6	5.4	6	2052	0.8	33.4	16
10	2240	0.6	7.5	15	2250	0.5	5.0	11	2280	0.1	0.9	0	2280	0.3	12.5	3
11	2464	0	0	0	2475	0.3	3.0	4	2508	0.2	1.8	1	2508	0.2	8.3	2
12	2688	0.1	1.2	0	2700	0.6	6.0	18	2736	0.3	2.7	3	2736	0.2	8.3	2

m p₁₃—p₁₉ 0.2 (1.8 %)

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	231	4.0	100.0	17	258	6.5	100.0	73	268	10.8	100.0	100	268	10.4	100.0	100
2	462	0.4	10.0	0	516	0.9	13.8	9	536	1.4	13.0	7	536	2.2	21.2	17
3	693	2.1	52.5	68	774	0.2	3.1	0	804	1.2	11.1	11	804	1.1	10.6	10
4	924	0.1	2.5	0	1031	0.3	4.6	2	1072	1.2	11.1	20	1072	0.3	2.9	1
5	1155	0.3	7.5	37	1290	0.3	4.6	4	1340	0.8	7.4	13	1340	0.4	3.8	4
6	1386	0.4	1.0	10	1548	0.4	6.2	11	1608	0.6	5.5	12	1608	0.7	6.7	18
7	1617	1.0	25.0	83	1806	1.1	16.9	100	1876	0.8	7.4	27	1876	1.2	11.5	67
8	1848	0.9	22.5	86	2064	0.5	7.7	21	2144	1.1	10.2	72	2144	0.8	7.7	36
9	2079	0.9	22.5	100	2322	0.5	7.7	41	2412	0.9	8.3	59	2412	0.9	8.7	64
10	2310	0.6	15.0	69	2580	0.2	3.1	9	2680	0.4	3.7	11	2680	0.2	1.9	5
11	2541	0.4	10.0	25	2838	0	0	0	2948	0.4	3.7	18	2948	0.3	2.9	11
12	2772	0.2	5.0	12	3096	0	0	0	3216	0.1	0.9	1	3216	0.2	1.9	7

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	275	11.9	100.0	100	281	20.8	100.0	100
2	550	2.1	17.6	12	562	1.3	6.3	1
3	825	1.1	9.2	7	843	2.5	12.0	13
4	1100	1.1	9.2	13	1124	1.8	8.7	12
5	1375	0.4	3.4	2	1406	0.5	2.4	1
6	1650	0.8	6.7	16	1686	1.4	6.7	17
7	1925	1.4	11.8	63	1967	3.0	14.4	100
8	2200	0.5	4.2	11	2248	1.1	5.3	18
9	2475	0.9	7.6	51	2529	1.6	7.7	46
10	2750	0.2	1.7	4	2810	0.3	1.4	2
11	3025	0.2	1.7	4	3091	0.4	1.9	3
12	3300	0.2	1.7	5	3372	0.4	1.9	5

Remarques. N° 1. — L'analogie de la voyelle précédente porte à admettre vers p_3 un renforcement à l'octave d'une résonance inférieure, probablement Rp; en ce cas le premier centre serait peu éloigné de Rp. — La résonance buccale est marquée en p_7 — p_9 , $v=1756$. En p_6 une résonance secondaire, en p_{10} , semble-t-il, une autre; elles ne sont pas isobables, parce qu'elles sont nécessairement en contact avec Rb. .

N° 2. — Le même problème se pose en termes encore plus nets: ou il faut voir dans p_3 le centre de Rp, ou il faut regarder ce sp comme octave d'une résonance inférieure. Rp p_7 — p_9 $v=1832$. En p_6 faible indication d'un son différentiel.

N° 3. — Mêmes remarques. Rb p_7 — p_9 $v=1791$.

N° 4. — Mêmes remarques. Rb p_7 — p_9 $v=1842$.

N° 5. — Mêmes remarques. Rb p_6 — p_8 $v=1668$, probablement un peu trop bas; l'amplitude de p_9 doit tenir aussi à Rb, de sorte que la valeur réelle de Rb serait plutôt p_7 — p_9 $v=1839$, que j'adopterai dans le calcul de la moyenne.

N° 1. — La résonance en p_3 a disparu. Ce fait paraît inexplicable si n'on admet que, dans les ondes précédentes, p_3 marquait la position de Rp; il y avait donc lieu d'y voir, comme on l'a fait, l'octave de cette résonance. — Rb p_6 — p_8 $v=1819$; en p_9 indication d'un son additionnel(?).

N° 7. — Les amplitudes p_3 — p_5 ne s'expliquent pas facilement. Rb p_7 — p_9 $v=2154$, pourrait être une valeur trop élevée, si en p_9 agit un son additionnel.

N° 8. — En p_3 octave de Rp (?). Rb p_6 — p_8 $v=1887$.

N° 9. — Rb p_6 — p_8 $v=1895$. En p_3 — p_4 les résonances à l'octave; en p_9 indication d'un son additionnel.

N° 10. — Rb p_6 — p_8 $v=1953$. Vers p_3 renforcement à l'octave; son additionnel vers p_8 .

Dans cette voyelle le son fondamental a partout la plus grande amplitude, et prédomine nettement sur les sp inférieurs, bien qu'on trouve jusque vers p_4 des amplitudes encore significatives. La résonance buccale se marque plus haut, et est très distincte. Dans le groupe des sp inférieurs doivent donc se trouver les deux résonances inférieures. La présence de résonances secondaires, en particulier d'un son additionnel contigu à Rb montre que le centre de ces résonances est situé entre les deux premiers sons partiels; par suite le renforcement qu'on remarque généralement vers p_3 doit représenter l'octave de ces résonances. Il en résulte qu'elles sont voisines l'une de l'autre; mais leur position exacte ne peut être déterminée. Du fait que le renforcement secondaire s'étend de p_2 à p_4 , on serait peut-être autorisé à conclure qu'elles sont séparées par un certain intervalle, d'ailleurs faible.

On a définitive:

Premier centre et Rp indéterminés, peut-être non loin de $n = 1.5$, soit, la moyenne du sf étant de 249 v. d., $v = 374 < sol^b_3 - ges'$.

Rb 1877 $si^b_5 - si_5$, $b''' - h'''$ (valeur peut-être un peu trop forte, cf n^0 7).

L'amplitude maxima est partout en p_1 ; l'intensité maxima est dans la résonance buccale en I_7 ou I_8 (une fois en I_9), et deux fois seulement en I_1 .

D'autre part les résultats fournis par l'analyse de cette voyelle permettent de revenir sur ceux constatés pour $ú$. On a vu que Rb s'indiquait vers le 3^e ou 4^e sp par deux fortes amplitudes, mais qu'une résonance secondaire (octave de Rb) portait à croire que le centre de Rb était voisin de $n = 4$, ce qui laissait inexplicée la forte amplitude p_3 . Mais l'analogie de $ú$ permet de considérer comme vraisemblable que, dans ce cas aussi, il s'agissait d'un renforcement secondaire à l'octave des résonances inférieures. Il découlerait de là que la position de Rb indiquée en prenant pour base des calculs les amplitudes $p_3 - p_4$ est trop basse. C'est une autre conséquence fâcheuse du fait que cette voyelle a été émise sur un son fondamental trop élevé: il s'est trouvé que la résonance buccale n'est pas assez éloignée de l'octave des résonances inférieures. En tout cas, on peut affirmer que Rp n'était pas située en p_3 , mais entre p_1 et p_2 .

Voyelle i.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	209	15.0	100.0	100	211	10.8	100.0	83	212	18.3	100.0	100	213	15.7	100.0	100
2	418	5.5	36.7	53	422	5.9	54.6	100	424	4.9	26.8	29	426	5.4	34.4	45
3	627	0.8	5.3	3	633	0.2	1.9	0	636	0.8	4.4	2	639	0.7	4.5	10
4	836	0.9	6.0	6	844	0.7	6.5	7	848	0.7	3.8	2	852	0.4	2.5	2
5	1045	0.6	4.0	4	1055	0.6	5.6	7	1060	0.5	2.7	2	1065	1.1	7.0	12
6	1254	0.3	2.0	1	1266	0.4	3.7	4	1272	1.4	7.6	22	1278	0.4	4.5	2
7	1463	0.2	1.3	1	1477	0	0	0	1484	0.2	1.1	1	1491	0.2	1.3	1
8	1672	1.1	7.3	32	1688	0.2	1.9	2	1696	0.2	1.1	1	1704	0.2	1.3	0
9	1881	0.9	6.0	28	1899	0.4	3.7	11	1908	0.2	1.1	1	1917	0.6	3.8	13
10	2090	0.4	2.7	9	2110	0.4	3.7	14	2120	0.3	1.6	2	2130	0	0	0
11	2299	0.2	1.3	2	2321	0.4	3.7	15	2332	0.4	2.2	5	2343	0.3	1.9	5
12	2508	1.2	8.0	93	2532	0.5	4.6	26	2544	0.7	3.8	23	2556	0.5	3.2	15
13	2717	0.5	3.3	15	2743	0.1	0.9	1	2756	0.3	1.6	5	2769	0.4	2.5	9
14	2926	0.9	6.0	68	2954	0.4	3.7	23	2968	0.4	2.2	10	2982	0.3	1.9	6
15	3135	0.3	2.0	8	3165	0.1	0.9	4	3180	0.2	1.1	3	3195	0.1	0.6	2
16					3376	0.3	2.8	14	3392	0.3	1.6	4	3408	0.1	0.6	2

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	215	17.7	100.0	100	216	27.5	100.0	100	217	14.7	100.0	100	217	12.1	100.0	100
2	430	5.4	30.5	38	432	4.2	15.3	10	434	5.9	40.1	65	434	4.8	39.7	63
3	645	0.2	1.1	0	648	2.3	8.4	6	651	0.9	6.1	3	651	1.0	8.3	6
4	860	0.3	1.7	0	864	0.4	1.5	0	868	0.4	2.7	1	868	0.3	2.5	1
5	1075	0.6	3.4	3	1080	0.3	1.1	0	1085	0.9	6.1	9	1085	1.1	9.1	20
6	1290	0.4	2.3	2	1296	0.9	3.3	4	1302	0.6	4.1	6	1302	0.5	4.1	7
7	1505	0.2	1.1	1	1512	0.2	0.7	0	1519	0.4	2.7	5	1519	0.3	2.5	4
8	1720	1.0	5.6	22	1728	0.5	1.8	3	1736	0.2	1.4	0	1736	0.4	3.3	11
9	1935	0.3	1.7	2	1944	1.0	3.6	11	1953	0.6	4.1	15	1953	0.1	0.8	1
10	2150	0.2	1.1	1	2160	0.2	0.7	1	2170	0	0	0	2170	0.5	4.1	17
11	2365	0.5	2.8	11	2376	0.3	1.1	1	2387	0.3	2.0	6	2387	0.4	3.3	15
12	2580	0.2	1.1	2	2592	0.1	0.4	0	2604	0.5	3.4	6	2604	0.2	1.7	5
13	2795	0.2	1.1	2	2808	0.2	0.7	1	2821	0.1	0.7	3	2821	0.3	2.5	10
14	3010	0.3	1.7	5	3024	0.8	2.9	17	3038	0.2	1.4	4	3038	0.1	0.8	1
15	3225	0.3	1.7	6	3240	0.5	1.8	9	m. p ₁₅ -p ₁₉ = 0.2 (1.4 %)				3255	0.1	0.8	3
16	3440	0	0	0	3456	0.5	1.8	8					3472	0.1	0.8	3

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	218	20.7	100.0	100	223	11.7	100.0	86
2	436	2.8	13.5	7	446	6.3	53.9	100
3	654	1.3	6.3	3	669	1.1	9.4	6
4	872	0.8	3.9	3	892	0.3	2.6	1
5	1090	0.5	2.4	4	1115	0.3	2.6	1
6	1308	0.9	4.3	7	1338	0.4	3.4	4
7	1526	0.5	2.4	3	1561	0.5	4.3	8
8	1744	0.4	1.9	2	1784	0.8	6.8	27
9	1962	1.1	5.3	22	2007	0.9	7.7	41
10	2180	0.6	2.9	9	2230	0.1	0.9	0
11	2398	0.2	1.0	1	2453	0.3	2.6	7
12	2616	0.4	1.9	5	2676	0.3	2.6	8
13	2834	0.2	1.0	2	2899	0.4	3.4	14
14	3052	0.7	3.4	22	3122	0.3	2.6	13
15	3270	0.2	1.0	2	3345	0.2	1.7	3
16	3488	0.3	1.4	6	3568	0.2	1.7	6

Remarques. — On sait quelles difficultés spéciales offre l'analyse de la voyelle i. Les courbes montrent de petites ondulations courant sur la période, généralement de forte amplitude, qui correspond au son fondamental. Ces ondulations, qui correspondent aux résonances supérieures, en particulier à Rb, sont de faible amplitude (bien que, par leur rang élevé, elles aient une intensité notable); il en résulte que l'erreur de mesure prend ici une importance considérable, en particulier parce qu'elle peut effacer la prédominance de l'harmonique le plus voisin de la résonance. En outre, comme le fait remarquer M. Pipping, le renforcement provoqué par la résonance buccale est parfois assez étalé. On peut donc s'attendre d'avance à des résultats moins nets qu'avec d'autres voyelles ¹⁾.

N° 1. — Les deux premiers sp présentent les amplitudes de beaucoup les plus fortes, et doivent comprendre les deux résonances inférieures. En p_3-p_5 peut-être une résonance secondaire. En p_8 nouvelle résonance à la double octave de p_2 . En p_{12} , nouveau renforcement avec la plus forte amplitude depuis p_2 . En comptant les petites ondulations, on en trouve effectivement de 11 à 13 (il est difficile d'en fixer le nombre exact, quelques-unes étant très aplaties). Il y a donc lieu de considérer p_{12} comme marquant le centre de Rb; en p_{14} , peut-être un son additionnel.

Rb $p_{11}-p_{13}$ $v=2541$.

¹⁾ Il faut ajouter que, avec ces voyelles, on arrive sûrement à la limite de ce que doit pouvoir rendre la plaque du phonographe. V. à ce sujet l'article de M. Goldhammer, Über die Klanganalyse mittels schwingender Platten, Ann. d. Physik, vol. 43 N. F. (1910) S. 192—208, dont les conclusions sont pourtant sujettes à revision, car elles ne tiennent pas compte de l'amortissement. Je reviendrai ailleurs sur ce sujet.

N° 2. — Les résonances inférieures n'agissent pas au delà de p_2 . Des renforcements secondaires apparaissent vers p_4 — p_5 . Rb se trouve dans le groupe de renforcement qui s'étend à partir de p_9 ; son centre, comme l'indiquerait le nombre des petites ondulations, est vers p_{12} ; p_9 — p_{10} doivent alors représenter un son différentiel, p_{14} peut-être un son additionnel.

Rb p_{11} — p_{13} $v = 2439$.

N° 3. — Rb p_{11} — p_{13} $v = 2529$.

N° 4. — Rb ressort mal dans le groupe p_{11} — p_{14} ; on peut en placer le centre entre p_{12} et p_{13} $v = 2651$.

N° 5. — Comme l'indique le nombre des petites ondulations, la résonance buccale semble bien avoir son centre dans la région p_{10} — p_{12} ; donc

Rb $n = 11$ $v = 2365$.

N° 6. — La résonance buccale, ici, ne peut être vers p_{12} , et on ne lui voit de place qu'en p_9 ou p_{14} ; elle serait donc ou plus basse ou plus haute que précédemment. Comme cette onde appartient au mot *Nice*, et que les petites ondulations sont au nombre de 13 à 15, il y a lieu de croire que l'influence de la consonne suivante se fait sentir par une élévation de la résonance buccale)

Rb p_{13} — p_{15} $v = 3067$.

N° 7. — Rb p_{11} — p_{13} $v = 2556$. N° 8. — Rb p_{10} — p_{11} $v = 2266$.

N° 9. — Ici encore, on a une onde du mot *Nice*; Rb doit être soit vers p_9 , soit en p_{14} . Rb $n = 14$ $v = 3052$.

N° 10. — Rb $n = 13$ $v = 2899$ (?).

Les résultats des analyses, comme on l'a vu, sont d'une interprétation parfois difficile, en ce que la résonance buccale paraît changer de position, et aussi parce que cette résonance ne ressort pas toujours avec une netteté suffisante. J'ai indiqué plus haut les raisons générales, tenant à la nature même de la voyelle, qui peuvent expliquer cet état de choses; il y en a d'autres spéciales aux courbes obtenues. De toute façon le centre de la résonance est situé entre les 9° et 14° sp, donc dans une région où l'on n'obtient une partie des amplitudes que par intégration partielle. Or l'expérience que j'ai faite de l'appareil de Mader me fait croire que les résultats numériques ainsi obtenus sont affectés d'une incertitude plus grande que ceux fournis par l'intégration unique, circonstance fâcheuse quand il s'agit de constantes dont l'une au moins est significative, et dont la valeur réelle doit pourtant être faible. En outre il est probable que les mots-clefs, de même que ceux pour *i*, ont été prononcés avec une trop grande force, et cette intensité semble avoir eu pour conséquence de favoriser le son fondamental plus que dans la prononciation ordinaire.

Les résonances inférieures sont partout marquées en p_1 et p_2 ; il est impossible de préciser l'intervalle qui les sépare ni leur position exacte. Le renforcement marqué en p_3 dans les voyelles *u* et *y*, dont le son fondamental est sensiblement plus élevé, semble plutôt se trouver ici vers p_4 . — Quant à la résonance buccale, il a paru qu'elle se trouvait souvent souvent vers le 12° sp. Dans quelques cas l'apparition vers p_8 — p_9 d'une forte amplitude,

parfois concurremment avec une autre vers p_{14} , peut faire hésiter sur la position qu'on doit attribuer à cette résonance. Si on se décidait pour la valeur la plus basse, la hauteur de Rb serait sensiblement la même que celle trouvée pour $\acute{e}$, et il faudrait admettre que la différence de timbre entre ces deux voyelles tient à ce que, pour i , la résonance Rp est beaucoup plus basse, et par suite l'intervalle entre les deux beaucoup plus grand. Ce résultat offrirait quelque analogie avec celui auquel aboutissent, pour le finnois parlé, les recherches de M. Pipping¹⁾.

$\acute{e}$	i
Rp la $\sharp_3$ -ais' (466)	vers ré ₃ -d' (294)
Rb la ₅ -si ₅ , a'''-h''' (1760-1976), la $\sharp_5$ -ut ₆ , ais'''-c ^{iv} (1865-2093).	

Mais la valeur absolue de Rb dans la voyelle $\acute{e}$ est, pour le finnois²⁾, plus basse que pour le français²⁾ (en finnois valeur moyenne $v = 1868$, en français $v = 1999$, soit un intervalle d'un demi-ton majeur), et la résonance buccale pour i doit, en tout état de cause, être plus élevée que pour $\acute{e}$. — D'autre part, si on examine le cas, en somme analogue, des voyelles antérieures labialisées $\acute{o}$ et y , on obtient les résultats suivants³⁾:

	$\acute{o}$		y
1	finnois	français	finnois
Rb	[e''']		[f'''-fis''']
	1319 fa $\flat_5$ -fes'''	1371 fa ₅ -f'''	1397-1480
			< fa $\sharp_5$ -sol $\flat_5$, fis'''-ges'''
			moy. 1440 > fa $\sharp_5$ -fis'''
			1748 la ₅ -la $\sharp_5$, a'''-ais'''.

On voit donc:

1° que les valeurs de Rb sont plus élevées en français qu'en finnois;

2° que l'écart entre les deux prononciations est plus grand pour y que pour $\acute{o}$ (pour $\acute{o}$ l'intervalle entre les valeurs trouvées pour les deux langues est d'un demi-ton mineur, pour y il est compris entre une tierce mineure et une tierce majeure);

3° que l'intervalle de $\acute{o}$ à y est plus grand pour le français (près d'une quarte diminuée) que pour le finnois (un peu moins d'un ton mineur).

Dans ces conditions, il paraît plus naturel d'admettre que Rb, pour i , correspond plutôt à la position la plus élevée des deux qui pourraient entrer en considération. On aurait alors pour la moyenne des dix ondes: Rb $v = 2636$ fa $\flat_6$ -fes^{iv}, valeur donnée pourtant avec réserve. L'intervalle des valeurs de Rb pour $\acute{e}$ et i serait alors compris entre la tierce augmentée et la quarte, assez semblable à celui constaté pour $\acute{o}$ et y .

¹⁾ Pipping, Zur Phonetik der finnischen Sprache, p. 204-205. Les notations de l'auteur se rapportent à la gamme tempérée de Scheibler; c'est pourquoi j'ai mis en regard les nombres de vibrations correspondants.

²⁾ Pour abrégér, je désigne ici par les termes: „le finnois“ et „le français“ les sons *parlés* dans la prononciation du sujet finnois étudié (M. Ekman) et dans ma propre prononciation.

³⁾ J'ai marqué entre crochets la notation de M. Pipping, et ramené le chiffre correspondant à la gamme naturelle adoptée au cours du présent travail.

Voyelle i.

Sp	N° 1				N° 2				N° 3				N° 4			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	194	19.0	100.0	100	198	20.3	100.0	100	199	23.9	100.0	100	204	23.3	100.0	100
2	388	2.3	12.1	6	396	2.6	12.8	6	398	2.2	9.2	4	408	2.2	9.4	3
3	582	1.5	7.9	5	594	0.5	2.5	0	597	0.3	1.3	0	612	1.2	5.1	2
4	776	1.4	7.4	9	792	0.9	4.4	3	796	0.7	2.9	1	816	0.4	1.7	1
5	970	0.8	4.2	4	990	1.2	5.9	9	995	0.5	2.1	1	1020	0.6	2.6	2
6	1164	0.5	2.6	2	1188	0.8	3.9	6	1194	0.1	0.4	0	1224	0.8	3.4	4
7	1358	0.8	4.2	9	1386	0.2	1.0	0	1393	0.2	0.8	0	1428	0.7	3.0	5
8	1552	0.6	3.2	7	1584	0.6	3.0	5	1592	0.2	0.8	1	1632	0.3	1.3	1
9	1746	0.6	3.2	9	1782	0.4	2.0	3	1791	0.5	2.1	3	1836	0.7	3.0	8
10	1940	0.9	4.7	23	1980	0.2	1.0	1	1990	0.8	3.3	11	2040	0.9	3.9	13
11	2134	0.1	0.5	0	2178	0.1	0.5	0	2189	0.1	0.4	0	2244	0.4	1.7	3
12	2328	0.9	4.7	34	2376	0	0	0	2388	0.4	1.7	4	2448	0.6	2.6	9
13	2522	0.1	0.5	1	2574	0.2	1.0	2	2587	0	0	0	2652	0.1	0.4	1
14	2716	0.4	2.1	9	2772	0.7	3.4	25	2786	0.4	1.7	2	2856	0.4	1.7	6
15	2910	0	0	0	2970	0	0	0	2985	0.1	0.4	0	3060	0.5	2.1	8
16					3168	0.2	1.0	2	3184	0.3	1.3	3	3264	0.5	2.1	12
17					3366	0.2	1.0	3								
18					3564	0.4	2.0	14								
19					3762	0.1	0.5	2								

Sp	N° 5				N° 6				N° 7				N° 8			
	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I	v	p	P	I
1	210	13.5	100.0	71	213	14.2	100.0	79	213	15.2	100.0	100	216	20.1	100.0	100
2	420	3.1	23.0	15	426	1.5	10.6	4	426	2.0	13.2	7	432	2.6	12.9	7
3	630	0.8	5.9	2	639	1.1	7.7	4	639	0.1	0.7	0	648	1.2	6.0	3
4	840	0.7	5.2	3	852	0.6	4.2	2	852	0.2	1.3	0	864	0.2	1.0	0
5	1050	0.4	3.0	2	1065	0.6	4.2	4	1065	0.5	3.3	3	1080	0.6	3.0	2
6	1260	1.2	8.9	21	1278	0.6	4.2	5	1278	1.5	9.9	37	1296	1.2	6.0	13
7	1470	0.3	2.2	2	1491	0.9	6.3	15	1491	0.6	3.9	8	1512	0.6	3.0	4
8	1680	0.5	3.7	6	1704	0.8	5.6	14	1704	0.9	5.9	20	1728	0.8	4.0	10
9	1890	0.8	5.9	21	1917	0.8	5.6	22	1917	0.4	2.6	6	1944	0.5	2.5	6
10	2100	0.5	3.7	10	2130	0.7	4.9	18	2130	1.1	7.2	49	2160	0.7	3.5	11
11	2310	0.4	3.0	6	2343	0.4	2.8	6	2343	0.5	3.3	10	2376	0.1	0.5	0
12	2520	0.8	5.9	41	2556	0.4	2.8	9	2556	1.1	7.2	65	2592	0.6	0.3	15
13	2730	0.3	2.2	7	2769	0.2	1.4	3	2769	0.3	2.0	6	2808	0.2	0.1	2
14	2940	1.0	7.4	74	2982	0.8	5.6	47	2982	0.7	4.6	38	3024	0.9	4.5	39
15	3150	0.6	4.4	28	3195	0.1	0.7	1	3195	0.3	2.0	9	3240	0.4	2.0	7
16	3360	1.0	7.4	100	3408	1.0	7.0	100	3408	0.8	5.3	68	3456	0.9	4.5	54
17	3570	0.2	1.5	5												

Sp	N° 9				N° 10			
	v	p	P	I	v	p	P	I
1	216	18.0	100.0	100	225	18.3	100.0	100
2	432	1.2	6.7	2	450	2.3	12.6	7
3	648	0.6	3.3	1	675	1.1	6.0	3
4	864	1.0	5.6	5	900	1.0	5.5	5
5	1080	0.1	0.6	0	1125	0.4	2.2	1
6	1296	1.0	5.6	12	1350	0.7	3.8	6
7	1512	0.4	2.2	2	1575	0.5	2.7	4
8	1728	0.3	1.7	2	1800	0.2	1.1	1
9	1944	0.5	2.8	7	2025	0.2	1.1	1
10	2160	0.6	3.3	12	2250	0.5	2.7	8
11	2376	0.1	0.6	0	2475	0	0	0
12	2592	0.6	3.3	15	2700	0.6	3.3	14
18	2808	0.1	0.6	1	2925	0.1	0.5	1
14	3024	0.9	5.0	48	3150	0.4	2.2	10
15	3240	0.1	0.6	1	3375	0.1	0.5	1
16	3456	1.1	6.1	92	3600	0.8	4.4	47

Remarques. Les ondulations correspondant aux résonances supérieures sont plus petites que pour *i*, et les résultats doivent par suite être un peu plus incertains. La distribution des amplitudes montre une prédominance encore plus accentuée du son fondamental, le deuxième *sp* étant déjà très faible. Ceci pourrait indiquer que la résonance de l'arrière-bouche, *a* encore baissé par rapport à *i*; on a vu que, pour *i*, elle pourrait être plus basse que pour les voyelles *u*, *ú*, *y* et *ý*.

Quant à la résonance buccale, elle se trouve, selon toute probabilité, plus haut que pour *i*, si on considère l'analogie de *y* et *ý*. Il est donc naturel d'en voir l'indication dans l'amplitude du 14^e *sp*, qui presque partout domine sur les harmoniques voisins. Etant donné les chances d'erreur dans la mesure des amplitudes supérieures, il me semble inutile de faire un calcul barycentrique. On peut admettre comme vraisemblable que la valeur *Rb* est située aux environs de $v = 2926 < \text{sol } b_6\text{-ges}^{iv}$ (14 fois la moyenne du son fondamental, qui est pour ces dix ondes de $v = 209$). L'intervalle *i*:*i* serait alors 1.110, soit un ton mineur; l'intervalle *ý*:*y* est de 1.073, soit un peu plus d'un demi-ton majeur. Comme les valeurs obtenues pour *i* et *í* sont entachées d'une plus grande incertitude que celles fournies par l'analyse de *y* et *ý*, l'accord est en somme satisfaisant.

III. Conclusions.

Après avoir discuté en détail les résultats des analyses, le moment est venu de tenter une synthèse de ces résultats.

Les remarques faites dans le chapitre précédent ont montré qu'il n'a pas été possible, pour toutes les voyelles, d'aboutir à des résultats précis, et notamment de séparer l'une de l'autre les deux résonances inférieures, parfois les trois résonances en jeu. Les notes sur lesquelles ont été émises les voyelles ne sont pas toujours assez basses, et il a fallu faire parfois des réserves sur l'exactitude des valeurs trouvées pour les résonances.

Un fait de portée générale qui ressort des analyses est l'apparition fréquente, presque régulière, de résonances secondaires dont beaucoup représentent des sons combinatoires entre les résonances supérieures. On ne peut voir un effet du hasard ou d'erreurs de mesure dans des amplitudes qui se manifestent à des places où théoriquement on est en droit de les attendre, dès qu'on admet la possibilité de ces combinaisons de sons. Quant à établir les conditions de leur apparition ou de leur absence, c'est une tâche encore prématurée; les hypothèses qu'on pourrait faire sur des matériaux aussi peu nombreux appelleraient les plus expresses réserves, et n'offrent par suite aucun intérêt. Il m'a paru seulement qu'on pouvait utiliser ces résonances secondaires pour déterminer avec une plus grande approximation la position de résonances non isolables directement, et j'ai fait un usage étendu de cette méthode.

En employant le calcul barycentrique et la considération des résonances secondaires, j'ai essayé de fixer autant que possible les limites entre lesquelles on peut dans chaque

cas placer les diverses résonances, et j'ai indiqué pour chaque voyelle, comme position de la résonance, la moyenne arithmétique de ces valeurs limites. Ce procédé est évidemment critiquable, puisqu'il est possible, et dans certains cas vraisemblable que la valeur réelle est située plus près d'une des deux limites. Si j'ai, dans l'étude détaillée des ondes vocaliques, cherché à tirer de chacune tout ce qu'elle pouvait donner, il faut ici tenir compte de ces incertitudes, et ne pas prétendre, dans les résultats définitifs, à une précision qui serait illusoire.

L'analyse de mes voyelles a révélé, directement dans beaucoup de cas, indirectement dans d'autres, la présence de *trois* centres de résonance. Le centre inférieur ne se marque guère au delà du deuxième sp, et il est presque toujours situé entre les deux premiers. Dans les conditions les plus favorables (*ä, a, á, o, è, ë*) on a obtenu pour la position de ce centre des valeurs situées entre $v = 216$ ($> la_2 - a$) et $v = 299$ ($ré_3 - dis'$). Dans d'autres cas on a fixé une limite supérieure, plus ou moins éloignée, variant de $v = 287$ ($ré_3 - d'$) à $v = 333$ ($mi_3 - eis'$). On peut donc dire que la position moyenne obtenue pour ce centre est située vers la limite entre les octaves 2 et 3, env. vers $ut_3 - c'$, valeur qui s'accorde en somme avec celle trouvée par M. Pipping.¹⁾ Mais il faut ajouter que toute détermination de ce centre inférieur effectuée dans ces conditions ne peut prétendre à une précision notable. L'intervalle entre p_1 et p_2 est en effet très grand, et les moindres variations dans la distribution des amplitudes amènent de grands écarts dans les résultats. Il faudra, comme le remarque M. Pipping, pour obtenir des valeurs plus précises, descendre beaucoup bas, si possible au-dessous de 100 v. à la seconde, de sorte que le centre de cette résonance se trouve reporté près du troisième sp. — C'est pourquoi je ne voudrais pas me prononcer encore sur l'hypothèse, en soi très plausible, qui attribue ce centre à la résonance de la cage thoracique. Tant que ce premier centre reste situé entre les deux premiers sp, et que les valeurs limites obtenues (216 et 299) diffèrent de plus d'une quarte, on ne saurait affirmer la fixité de cette résonance, conséquence qui découle de l'hypothèse de M. Pipping. La position de ce centre varie, et monte en général avec le son fondamental, dans les cas où on a pu la fixer avec quelque précision, comme il résulte du tableau suivant:

Voyelle	Son fondamental (moyenne)	Position du premier centre
<i>ä</i>	140	216
<i>o</i>	160	244
<i>ë</i>	181	283
<i>è</i>	185	287
<i>á</i>	191	299
<i>a</i>	194	277

C'est un résultat qui n'a pas lieu de surprendre, précisément parce que l'intervalle entre les deux (ou les trois) premiers sp est si grand que les variations du son fondamental

¹⁾ Zur Phonetik der finnischen Sprache, p. 204–205.

doivent produire de grandes variations dans les résultats du calcul; et l'on voit que l'écart entre les valeurs du son fondamental (140—191) et celles du premier centre (216—299) est à peu près le même. D'ailleurs la relation n'est pas absolument constante, puisque la valeur obtenue par l'analyse de *a* est inférieure à celle obtenue d'après l'analyse de *ë*. — Les présentes recherches autorisent aussi à dire qu'on ne constate pas de relation univoque entre la position du premier centre et le timbre, tandis que la position des autres résonances montre avec le timbre vocalique des relations évidentes et bien déterminées.

Laissant donc hors de compte ce premier centre dont la localisation n'est pas satisfaisante, je ne retiendrai, pour la classification des voyelles, que les deux résonances de l'arrière-bouche et de la bouche. Je donnerai d'abord un tableau d'ensemble des résonances vocaliques, en classant provisoirement les voyelles d'après les trois séries articulatoires usuelles:

- 1) voyelles antérieures non labialisées: *è, ë, e, é, i, í*;
- 2) voyelles antérieures labialisées: *æ, œ, œ, ø, ó, y, ý*;
- 3) voyelles postérieures: *a, á, ã, ò, õ, o, ó, u, ú*.

Ce tableau contient, pour chaque résonance, l'indication des valeurs limites (éventuelles) et moyennes, et l'intervalle entre les valeurs moyennes de *Rp* et *Rb*.

Tableau général des résonances vocaliques.

Voyelle	Son fondam. (moyenne).	Résonance de l'arrière-bouche			Résonance buccale			Rapport Rb/Rp.
		Limite inférieure	Limite supérieure	Moyenne	Limite inférieure	Limite supérieure	Moyenne	
I Voyelles antérieures non labialisées.								
è	185			725 { < sol $\flat_4$ - ges''			1460 { < sol $\flat_5$ - ges''	env. octave
ê	181			737 sol $\flat_4$ -ges''			1301 { mi_5 - mi_5 e'''-eis'''	7 ^e mineure
e	195	533 ut $\sharp_4$ -cis''	629 < mi_4 -e''	581 > ré $_4$ -d''			1644 la $\flat_5$ -as''	< douzième
é	205	494 < si $\sharp_3$ -his'	555 ré $\flat_4$ -des''	528 < ut $\sharp_4$ -cis''			1999 si $\sharp_5$ -his'''	quatorzième
i	215			indéterm.			2636 fa $\flat_5$ -fes ^{IV} (?)	
í	209			"			2926 { < sol $\flat_5$ - ges ^{IV} (?)	
II Voyelles antérieures labialisées.								
œ	187	525 < ut $\sharp_4$ -cis''	584 > ré $_4$ -d''	554 ré $\flat_4$ -des''			1017 < ut $_5$ -c'''	> 7 ^e mineure
œ	212	666 mi $\sharp_4$ -es''	694 > fa $_4$ -f''	681 fa $_4$ -f''	1024 ut $_5$ -c'''	1107 ré $_5$ -des'''	1065 ut $\sharp_5$ -cis'''	quinte augm.
œ	214	633 < mi_4 -e''	676 < fa $_4$ -f''	655 fa $\flat_4$ -fes''			1278 mi_5 -e'''	7 ^e augm.
e	203	580 ré $_4$ -d''	649 > mi_4 -e''	614 mi $\flat_4$ -es''			1241 > mi $\flat_5$ -es'''	env. octave
œ	192	398 sol $\sharp_3$ -gis'		[427 la $_4$ -a''?]			1371 fa $_5$ -f'''	> douzième
y	248			indéterminable			1748 < la $\sharp_5$ -ais'''	
ý	249			"			1877 { si $\flat_5$ -si $_5$, b'''-h'''	sûrement plus de deux octaves
III Voyelles postérieures.								
a	194	753 < sol $_4$ -g''	806 > sol $\sharp$ gis''	768 sol $_4$ -g''	1195 ré $\sharp_5$ -dis'''	1248 { mi_5 $\flat_5$ - mi_5 es'''-e'''	1232 mi $\flat_5$ -es'''	sixte mineure
á	191	764 sol $_4$ -g''	810 { sol $\sharp_4$ -la $\flat_4$, gis'''-as'''	< 787 { sol $_4$ -sol $\sharp_4$, g'''-gis'''	1085 ut $\sharp_5$ -cis'''	1146 < ré $_5$ -d'''	> 1115 { > ré $\flat_5$ - des'''	quinte dim.
ã	140	700 < fa $\sharp_4$ -fis''	799 sol $\sharp_4$ -gis''	750 { sol $\flat_4$ -sol $_4$, ges'''-g'''	874 { la $_4$ -la $\sharp_4$, a'''-ais'''	973 > si $_4$ -h''	924 si $\flat_4$ -b''	tierce
ò	198	534 ut $\sharp_4$ -cis''	581 > ré $_4$ -d''	558 > ré $\flat_4$ -des''	957 < si $_4$ -h''	971 > si $_4$ -h''	964 si $_4$ -h''	sixte augm.
o	160	606 > ré $\sharp_4$ -dis''	650 > mi_4 -e''	628 > mi $\flat_4$ -es''	950 < si $_4$ -h''	995 < si $\sharp_4$ -his''	972 { si $_4$ -ut $\flat_5$, h'''-ces'''	quinte augm.
õ	182			[364 sol $\flat_5$ -ges']			[600? ré $\sharp_4$ -d'']	
ó	161			[322 mi_5 -e']	631 < mi_4 -e''	658 fa $\flat_4$ -fes	644 mi_4 -e''	octave?
u	242			indéterminable	931 > si $\flat_4$ -b''	1034 > ut $_5$ -c'''	972 > si $_4$ -h''	
ú	223			"		755 < sol $_4$ -g''(?)		

Une question qui se pose d'abord à propos des voyelles françaises est celle du timbre des voyelles nasales, et des rapports entre ces voyelles et les voyelles orales les plus voisines. Les analyses n'ont pas révélé, outre les trois centres communs à toutes les voyelles, de résonance spéciale qu'on puisse attribuer à l'influence de la cavité nasale. Si on considère les deux centres Rp et Rb, la comparaison de $\tilde{a}$ avec a et $\acute{a}$, et de $\tilde{e}$ avec e montre que Rp occupe sensiblement la même position, mais que Rb, pour les voyelles nasales, est plus basse que pour les voyelles orales. La comparaison de $\tilde{æ}$ avec $æ$ et de $\tilde{o}$ avec o ou o montre, il est vrai, des résultats différents: $\tilde{æ}$ a la même résonance buccale que $æ$, et une valeur plus élevée pour Rp; pour $\tilde{o}$ les deux résonances sont plus basses que pour o et o . Mais la valeur de Rp obtenue pour $æ$ semble suspecte, et, quant à $\tilde{o}$, on conçoit que l'abaissement du voile du palais, combiné avec l'élévation de la langue dans la région vélaire, modifie la résonance du pharynx plus que pour les autres voyelles nasales. Je rappelle enfin que les matériaux du présent travail sont encore peu nombreux et laissent encore trop de place aux hasards d'articulation. On peut en tout cas dire que les voyelles nasales se distinguent surtout par l'abaissement de la résonance buccale ($\tilde{æ}$ exception unique et peut-être accidentelle; cette voyelle correspond d'ailleurs plutôt à $æ$ qu'à $æ$), tandis que la résonance de l'arrière-bouche est beaucoup moins influencée par les mouvements du voile.

Si l'on veut tenter une classification des voyelles d'après leur timbre, il faut tenir compte des deux résonances de la bouche et de l'arrière-bouche. Comme les valeurs trouvées pour Rp sont beaucoup moins variables que celles de Rb, le plus simple est encore d'essayer de constituer des groupes vocaliques d'après les valeurs de Rp. On obtient alors la classification suivante:

Série I. Résonance du pharynx ut ν_4 —ut $\sharp_4$ ges"—gis".

$\tilde{a}$	Résonance buccale	si ν_4 , b".
$\acute{a}$	"	" ré ν_5 , des"".
a	"	" mi ν_5 , es"".
$\tilde{e}$	"	" mi—mi $\sharp_5$, e""—eis"".
$\tilde{e}$	"	" < sol ν_5 , ges"".

L'écart entre Rp et Rb croît de la tierce ($\tilde{a}$) à l'octave ($\tilde{e}$).

Série II. Résonance du pharynx mi ν_4 —fa $_4$, es"—f".

o	résonance buccale	si $_4$ —ut ν_5 , h"—ces".
$\tilde{æ}$	"	" ut $\sharp_5$, cis"".
d	"	" > mi ν_5 , es"".
$æ$	"	" mi $_5$, e"".

L'écart entre Rp et Rb croît de la quinte augmentée à l'octave environ.

Série III. Résonance du pharynx ré ν_4 —ré $_4$, des"—d".

$\tilde{o}$	résonance buccale	> si $_4$, h".
$\tilde{æ}$	"	" ut $_4$ —ut $\sharp_5$, c""—cis"".

e résonance buccale $> la \text{ } \flat_5, as'''$.

é " " si $\sharp_5, his'''$.

L'écart de Rp à Rb croît de la sixte augmentée à près de deux octaves.

Série IV. Résonance du pharynx $mi_3-la_3, e'-a'$.

ô résonance buccale $ré_4, d''$.

ó " " mi_4, e'' .

œ " " fa_5, f''' .

Série V. Résonance du pharynx indéterminée, sans doute vers le bas de la 3^e octave.

u résonance buccale $> si_4-h''$.

ú " " $< sol_4-g''$.

y " " $< la \text{ } \sharp_5, ais'''$.

ý " " $> si \text{ } \flat_5-si_5, b'''-h'''$.

i " " vers $fa \text{ } \flat_6-fes^{IV}$.

í " " vers $sol \text{ } \flat_6-ges^{IV}$.

Si on examine ces séries, on constate qu'elles présentent une certaine unité au point de vue articulaire. La première se compose de voyelles non labialisées et qui ont la position de la langue la plus basse; la seconde ne comprend que des voyelles labialisées de position moyenne; la quatrième des voyelles labialisées de position élevée, et la cinquième les voyelles pour lesquelles l'élévation de la langue atteint son maximum. La troisième série n'offre pas la même unité, car elle comprend des voyelles labialisées basses et deux voyelles non labialisées moyenne et haute. Mais il est possible que la continuation de ces recherches fasse disparaître cette série qui se fondrait par exemple dans la seconde et la quatrième.

S'il en était ainsi, on aurait quatre groupes: voyelles basses non labialisées, voyelles basses labialisées et voyelles moyennes; voyelles hautes; voyelles supérieures, caractérisés chacun par une résonance pharyngienne à peu près identique, cette résonance baissant graduellement du premier au dernier groupe. On aurait ainsi une classification articulaire divisée surtout dans le sens vertical. — Mais, dans l'état actuel de mes recherches, il n'est pas possible de pousser aussi loin le schématisme. Je dois m'en tenir aux cinq séries indiquées plus haut, qui rentrent assez bien dans la division ci-dessus.

Il est intéressant de comparer les résultats précédents avec ceux obtenus par d'autres auteurs pour des voyelles *françaises*. La comparaison avec des voyelles d'autres langues, utile dans des recherches théoriques sur la nature des voyelles, perd de son importance quand on ne peut indiquer la correspondance des impressions auditives produites par ces voyelles. Il suffira d'ailleurs de noter que la classification ci-dessus concorde en somme avec celle de M. Pipping pour les voyelles finnoises.

Pour le français, les seules données qui puissent servir de terme de comparaison sont les déterminations des „résonances caractéristiques“ effectuées par M. l'abbé Rousselot et

quelques-uns de ses élèves au moyen de diapasons, puis d'un tube de résonance de Quincke. On trouvera dans les travaux de M. Rousselot des indications détaillées sur la technique opératoire et sur les résultats ¹⁾. M. Rousselot donne pour chaque voyelle une seule note caractéristique. Comme le diapason ou le tube sont tenus devant l'orifice buccal, il est tout naturel de penser que la note indiquée est celle de la résonance buccale. J'ai réuni dans le tableau ci-dessous les valeurs de Rb selon mes analyses (P) et celles de la résonance caractéristique selon M. Rousselot (R) d'après ses diapasons; les valeurs obtenues avec le tube de résonance sont identiques, ou ne diffèrent que de quelques vibrations.

Voyelle	P	R
è	1460	1668
ê	1301	1348
e	1644	1596
é	1999	1824
i	2636 (?)	2736
í	2926 (?)	3648
a	1232	1026
á	1115	912
ã	924	918
ò	964	798
õ	600 (?)	690
o	972	684
ó	644	456
u	972	342
ú	< 755 (?)	228
œ	1046	2280 (=è + á 1368 + 912)
œ̃	1065	1352
œ	1248	} 2364 (=e + ò 1596 + 768)
ø	1278	
œ	1371	2394 (=e + o 1710 + 684, autre nuance de e)
y	1748	2280 (=é + ó 1824 + 456)
ý	1877	3078 (=i + u 2736 + 342).

Les divergences entre les deux séries sont souvent énormes, et dépassent parfois l'octave. Il n'y a d'accord (si on considère que les valeurs de la colonne P sont expressément données comme approximatives) que pour *ã*, *ê*, *è*, *e*, *i* (et à la rigueur encore *é*, vu la différence des prononciations). C'est un résultat qui a lieu de surprendre, et dont il faut essayer de trouver la cause.

Les divergences de prononciation (M. Rousselot est du Haut-Angoumois, moi de Lorraine) ne peuvent rendre compte de tous les écarts; car les chiffres trouvés par M. Laclotte

¹⁾ Rousselot, Principes (II) p. 743 sqq (diapason), p. 787 (tube de résonance).

d'Agen, dans le Midi de la France) diffèrent très peu de ceux donnés par M. Rousselot¹⁾. D'ailleurs M. Rousselot, qui a étudié les variations dialectales de la résonance caractéristique de *á*, indique pour la Lorraine la valeur 907, très voisine de la sienne (912), mais fort éloignée des 1115 vibr. que je trouve.

Mais cet exemple fournit l'explication d'une partie au moins des différences. Selon M. Rousselot, *á* lorrain a pour résonance caractéristique $v=907$. Mes analyses montrent deux résonances en contact, auxquelles le calcul attribue les valeurs approximatives $R_p=787$, $R_b=1115$. La moyenne de ces deux valeurs est de 951. Comme les valeurs ci-dessus sont les moyennes de valeurs-limites, et qu'elles sont par suite incertaines, on voit que le chiffre 907 pourrait très bien être la moyenne entre les deux résonances supralaryngiennes. Il est d'ailleurs naturel que, dans l'articulation de *á* (bouche très ouverte, faible rétrécissement vélaire), les deux résonances puissent agir sur l'appareil employé.

Il en est de même pour *a*: la valeur trouvée par M. Rousselot pour sa prononciation (1026) est encore sensiblement à la moyenne (1000) entre les valeurs que je trouve pour $R_p=768$ et $R_b=1232$; de même encore pour *ò* la valeur 798 (*R*) est voisine de la moyenne (761) entre $R_p=558$ et $R_b=964$. — Dans d'autres cas, comme pour *o*, le chiffre donné par M. Rousselot correspond plutôt à la valeur que je trouve pour R_p , non pour R_b .

Mais ces considérations n'expliquent pas comment M. Rousselot trouve des valeurs supérieures pour *y* p. ex. de près d'une quarte, et pour *ý* d'une sixte à celles que me fournissent mes analyses. Même désaccord du reste avec les chiffres obtenus p. ex. par M. Pipping pour *y* et pour *i*²⁾, où la résonance buccale reste bien au-dessous des chiffres de la colonne *R* dans le tableau précédent. Pour les *y* et pour *i*, on peut penser à une confusion avec des résonances secondaires au-dessus de R_b : celles-ci n'auraient pas besoin d'une forte amplitude pour prédominer par leur intensité sur la résonance buccale proprement dite; mais on ne rend pas encore compte de tous les écarts.

Une autre explication qu'on peut invoquer, c'est que, dans mon travail, les sons étudiés sont des voyelles parlées dans des mots, et que généralement, dans les recherches entreprises à l'aide de diapasons et de tubes de résonance, on étudie des voyelles soutenues longtemps, donc en principe chantées. Or les résonances des voyelles parlées et des voyelles chantées sont un peu différentes; en outre on tend facilement, dans des expériences de ce genre, à une prononciation idéale qui n'est pas absolument celle du langage parlé ordinaire.

Mais cette remarque ne suffit pas non plus à expliquer les divergences restantes³⁾. Il faut examiner le système en lui-même. Ce qui frappe, c'est que les résultats offrent une régularité remarquable dans la constitution du système vocalique. Il y a des rapports simples

¹⁾ Rousselot, Principes, I. cit.

²⁾ Il n'est pas fait de distinction, dans le travail de M. Pipping, entre des nuances de timbre analogues à celles qui séparent *y* et *ý*, *i* et *í*.

³⁾ Il faudrait aussi, comme le remarque M. Struycken: Appareil du dr S. pour la photographie des vibrations sonores (Revue de phonétique, vol. 2, 1912, p. 145), tenir compte de la différence d'action des diapasons et de la plaque du phonographe. Mais les études manquent encore sur ce point.

entre les caractéristiques des voyelles, et ces résonances s'ordonnent en gammes. On a par exemple la série suivante formant une suite ininterrompue de quintes (et par suite d'octaves):

ú	u	ó	o	á	è	é	i	í
228	342	456	684	912	1368	1824	2736	3648.

D'autre part la caractéristique des voyelles labialisées antérieures est la somme de caractéristiques de voyelles déterminées (indiquées dans le tableau ci-dessus).

Cette distribution absolument symétrique de voyelles formant des octaves avait déjà été indiquée, pour quelques-unes, par Helmholtz et R. König. J'avoue que cette régularité même m'est suspecte, et que je crois la réalité beaucoup moins simple. Mais, n'ayant pas l'expérience des instruments employés, je ne puis entrer dans une critique plus approfondie des résultats. — Comme d'ailleurs les résultats numériques du présent travail sont surtout des pierres d'attente, il est probable que la continuation de mes recherches réduira encore le nombre des divergences. Ce qui maintenant est nécessaire, c'est d'abord de reprendre systématiquement les voyelles étudiées en variant la hauteur et l'intensité. C'est la tâche que je me propose d'aborder dans une nouvelle série de ces recherches expérimentales.

La planche jointe au travail donne des spécimens des courbes obtenues, les numéros des ondes renvoyant aux tableaux ci-dessus. Il a été nécessaire, pour l'exécution de cette planche, de repasser les traits originaux, qui y ont perdu en finesse.

Vu:

Le 4 Novembre 1912.

Le Doyen de la Faculté des Lettres de l'Université de Paris,

A. Croiset.

Vu et permis d'imprimer:

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

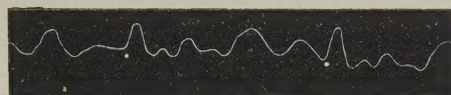
L. Liard.

Erratum.

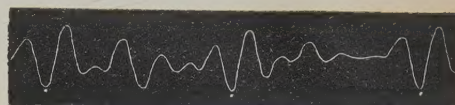
P. 18, dern. l., au lieu de: p_7 ou p_8 , lire: I_7 ou I_8 .

" 91, l. 32, " " " *ut*, lire: *sol*.

Spécimens des ondes vocaliques analysées
(grandeur naturelle).



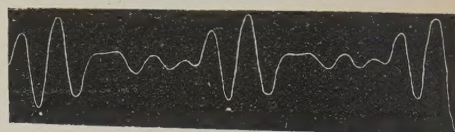
è n° 5



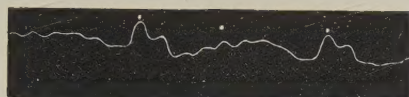
a n° 9, 6



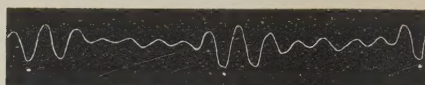
ë n° 3



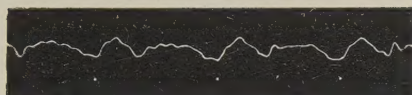
á n° 7, 8



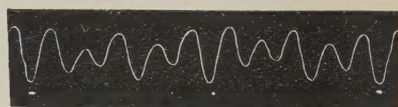
e n° 5



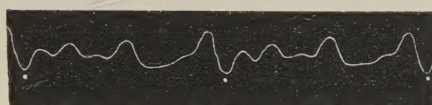
ã n° 2, 3



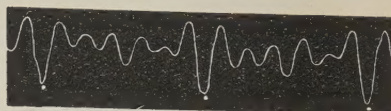
é n° 10, 7



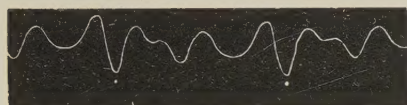
ô n° 9, 10



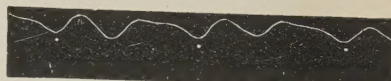
œ n° 4, 5



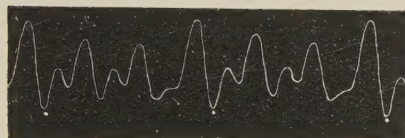
o n° 8, 9



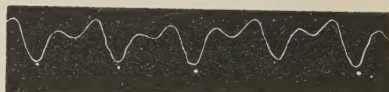
œ̃ n° 7



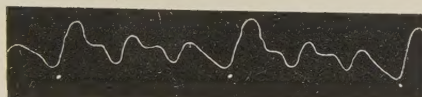
õ n° 9, 5



œ n° 7, 4



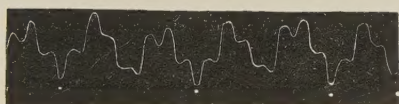
ó n° 9, 6



ø n° 8, 6



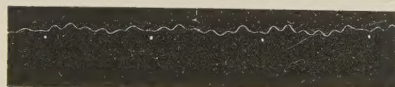
u n° 8, 10, 4



œ n° 4, 7



ú n° 7, 1, 5



y n° 2, 1, 9



i n° 3, 7



ý n° 2, 4
et 7, 8



í n° 7, 1

